

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko – geologická fakulta

Katedra environmentálního inženýrství

**Využití programu HEC-RAS při modelování rozlivů v
korytě řeky Odry v Bohumíně**

diplomová práce

Autor:

Bc. Kateřina Raszková

Vedoucí diplomové práce:

RNDr. Jana Nováková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

Faculty of mining and geology

Department

Department of environmental engineering

Utilization of the HEC-RAS program in the floodplain

simulation of the Odra river

diploma thesis

Author: Bc. Kateřina Raszková

Supervisor: RNDr. Jana Nováková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kateřina Raszková**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství
Téma: **Využití programu HEC-RAS při modelování rozlivů v korytě řeky Odry v Bohumíně**
Utilization of the HEC-RAS Program in the Floodplain Simulation of the Odra River
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Přírodní poměry zájmového území
3. Modelování simulace koryta v hydrodynamickém modelu HEC-RAS
4. Zhodnocení výsledků
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

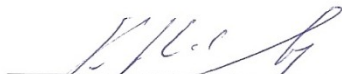
BROSCH, Otto. Povodí Odry. Ostrava: Anagram, 2005, 323 s. ISBN 80-734-2048-1.
HAPLOVÁ; Vladislava, Dariusz URBANIAK; Karolína ZUROWSKA. Naše Odry: Turistický průvodce přírodou hraničních meandrů Odry. první. WWF Polska, 2006., s. 79, ISBN 83-923590-7-0.
KUBEC, Jaroslav a Josef PODZIMEK. Křižovatka tří moří: vodní koridor Dunaj-Odra-Labe = Meeting of three seas : water corridor Danube-Oder-Elbe. 1. vyd. [Praha: Your ARTillery, 2007]. ISBN 978-80-254-0105-7.
ŠUHAI, Jiří, Monika [FOT. DUŠAN BOUCNÝ ET AL. a Barbara POLSKÝ PŘEKL. GRZEGORZ CHLEBIK]. Hraniční meandry Odry: město Bohumín = Graniczne meandry Odry : gmina Krzyżanowice. Racibórz: Wydawnictwo i Agencja Informacyjna WAW Grzegorz Wawoczny, 2009. ISBN 978-838-9802-859.
TEISTER, J., VESELÝ, Z. Od Bogunu k Bohumínu. Havířov: Info Press, 2006. 260s.
PAPPENBERGER, F., et al. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. Journal of Hydrology, 2005. 302(1-4), p.46-69.
Vladislava Hamplová, Dariusz Urbaniak, Karolína Žurowska, Monika RED.: PIOTR NIEZNAŃSKI a Barbara WWF]. Nasza Odry: przewodnik turystyczno-przyrodniczy po granicznych meandrach Odry = Naše Odry : turistický průvodce přírodou hraničních meandrů Odry = Our Odra river : Odra river border meanders travel and nature guide = Unsere Odry : Reise- und Naturführer für die Grenzmäander der Oder. Krzyżanowice: WWF Polska. Urząd Gminy Krzyżanowice, 2006. ISBN 83-923-5907-0.
Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M. & Blazkova, S. 2005, Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. Journal of Hydrology. 302, p.46-69.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Jana Nováková, Ph.D.**

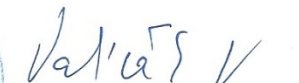
Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu





doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

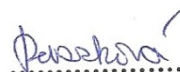
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 4. 2018


.....

Poděkování: Děkuji vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Janě Novákové Ph.D. za odborné vedení při vypracování práce a obětavost při poskytování materiálů. Také bych chtěla poděkovat své rodině a příteli, kteří mi byli oporou po celou dobu studia.

Anotace

Tato diplomová práce na téma „Využití programu HEC-RAS při modelování rozlivů v korytě řeky Odry v Bohumíně,, se zabývá hydrodynamickým modelováním rozlivů na řece Odře v Bohumíně (říční kilometr 8 – 0). Hydrodynamické modelování bylo provedeno pomocí pre-processingu dat v programu GIS s extencí HEC-GeoRAS, samotné modelování bylo provedeno v programu HEC-RAS. Byly modelovány průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Pro srovnání byl použit hydrodynamický model projektu DIBAVOD. Diplomová práce shrnuje všechny důležité údaje o hydrodynamickém modelování důležité pro praktické využití. Na základě poznatků byla vytvořena simulace záplavového území.

Klíčová slova: Odra, povrchový odtok, rozliv, GIS, HEC-RAS, hydrodynamické modelování

Summary

This diploma thesis on "Utilization of the HEC-RAS program in modeling of floodplains in the Odra river basin in Bohumín" deals with the hydrodynamic modeling of floods on the Odra River in Bohumín (river kilometer 8 - 0). Hydrodynamic modeling was performed by pre-processing data in the HEC-GeoRAS extension GIS, the modeling itself being performed in the HEC-RAS program. Flows Q_5 , Q_{20} and Q_{100} were modeled. For comparison, the hydrodynamic model of the DIBAVOD project was used. This diploma thesis summarizes all important data on hydrodynamic modeling that is important for practical use. Based on the findings, simulation of floodplain was created.

Key words: Oder, surface runoff, water flow, GIS, HEC-RAS, hydrodynamic modeling

OBSAH

1	Úvod a cíl práce.....	1
2	Vymezení modelovaného zájmového úseku od 8 říčního kilometru do 0 říčního kilometru.....	2
3	Charakteristika zájmového území	3
3.1	NATURA 2000	3
3.2	Přírodní památka	4
4	Přírodní poměry.....	5
4.1	Geologie	5
4.2	Geomorfologie	5
4.3	Hydrologie.....	6
4.3.1	Hydrogeologický vrt	7
4.4	Klimatologie.....	7
4.5	Pedologie.....	8
4.6	Flora	8
4.7	Fauna	8
5	Povodeň.....	9
5.1	Rozdělení povodní	9
5.1.1	Dešťové povodně	10
5.1.2	Sněhové povodně	11
5.1.3	Smíšené povodně	11
5.1.4	Ledové povodně.....	11
5.1.5	Specifické povodně	11
5.2	Faktory charakterizující povodeň.....	11
5.2.1	Meteorologické faktory.....	12

5.2.2	Hydrologické faktory	12
5.2.3	Antropogenní faktory	12
5.3	Povodně na Bohumínsku	13
5.4	Příčina vzniku povodní v Bohumíně	14
5.5	Historické povodně Bohumínska	14
5.5.1	Povodeň v roce 1997 v Bohumíně	15
5.6	Ochrana před povodněmi	16
5.6.1	Příprava na povodně	17
5.6.2	Opatření během povodně	19
5.6.3	Opatření po povodni	19
5.7	Protipovodňová opatření v intravilánu	19
5.8	Protipovodňová opatření v zájmovém úseku řeky Odry (8 – 0 říční kilometr)	20
5.8.1	První etapa protipovodňového opatření	20
6	Hydrodynamické modelování	21
6.1	Vstupní data	21
6.1.1	Členění vstupních dat	21
6.1.2	Topografická data	22
6.2	Geografické informační systémy (GIS)	23
6.2.1	GIS software ArcGIS/ArcMAP	24
6.2.2	Extence HEC-GeoRAS	25
6.3	Přehled hydrodynamických modelů	25
6.3.1	MIKE 11	26
6.3.2	HEC-RAS	27
7	Odtok	30
7.1	Povrchový odtok	30

8	Digitální modely terénu	32
8.1	Zdroj dat pro DMT	32
8.1.1	Přímé metody	32
8.1.2	Nepřímé metody	34
8.2	Práce s výškovými daty.....	34
8.2.1	ZABAGED	35
9	Metodika práce	36
9.1	Přípravné práce.....	36
9.2	Verifikace podkladů v terénu	37
9.3	Popis modelovaných lokalit	37
9.3.1	Lokalita č. 1 (8 - 7 říční kilometr)	37
9.3.2	Lokalita č. 2 (7 – 1 říční kilometr).....	39
9.3.3	Lokalita č. 3 (1 – 0 říční kilometr).....	40
9.4	Využité přístroje: GPS navigace Garmin eTrex Vista HCx.....	41
10	Modelování hydrodynamického modelu	42
10.1	Preprocessing dat Arc-Map + extence HEC-GeoRAS	42
10.2	Modelování v prostředí HEC-RAS	46
10.3	Post-processing Arc-Map	49
11	Výsledky.....	51
11.1	Plocha rozlivu	51
11.2	Výška vodní hladiny	53
12	Diskuze.....	55
13	Závěr	57
	Seznam použité literatury	
	Seznam obrázků.....	

Seznam tabulek

Seznam příloh.....

Příloha 1: Rozliv způsobený Q_{20} – srovnávání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD	1
Příloha 2: Rozliv způsobený Q_{100} – srovnávání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD	2
Příloha 3: Poměr využití půdy při rozlivu Q_{20}	3
Příloha 4: Poměr využití půdy při rozlivu Q_{100}	4
Příloha č. 5: Výška vodní hladiny vodního toku v zájmovém úseky řeky Odry	5

1 ÚVOD A CÍL PŔCE

Rozlivy a záplavy jsou od nepamti spojen s životem na Zemi. Záplavy vznikají pŕi dlouhodobých srzkch, tn sněhu či krátkodobých pŕivalovch deštích. Na zem Āesk republiky se jedná o nejniĀivj pŕrodn hrozbu nazývanou povodn, ve výhledu do budoucna zde zařadíme také sucha. Jedná se o souhrn meteorologkch (srážek), fyzickogeografkch (vlastnosti povrchu) a antropogenních (změny ve využívn ploch) okolnosti. Tyto podmínky urĀuj Āasovou a prostorovou Āetnost výskytu povodn. V historii, kdy Ālovk neovlivňoval krajinu, vodní nžinn toky tekly pŕirozenm korytem, tok se stěhoval z msta na msto a vytvářel široce zařzl údolí. Vlivem Ālovka poté došlo k mnoha zásahům proti povodním, kterými nelze extrmn niĀiv povodn zastavit. Je-li území v blízkosti vodního toku, vznikají rzn zplavov území, v kterých je omezen návrh a výstavba staveb. Dnes je tento parametr opomenut a dochází k výstavbě v mnohem větší blízkosti k toku.

V posledních desetiletch jsou povodn velmi Āast a dochází ke škodám nejen na majetku ale také na lidských životech. K největší pŕrodn katastrofě došlo v roce 1997, kdy extrmn povodeň zshla i msto Bohumín a vybran usek toku diplomov pŕce.

Diplomov pŕce se zabírá hydrodynamickm modelováním rozlivů řeky Odry v zájmovém useku (8 – 0 řĀn kilometr) pŕi inundaci Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Jedná se o modelování, kter je dležit k predikci povodn. Díky modelům je možné pŕedchzet škodám. Důležitým aspektem hydrodynamického modelování jsou vstupní data. Ām pŕesnj vstupní data vložíme do modelu, tím pŕesnj simulace nm model nabídne. Tato pŕce se zabývá hydrodynamickm modelováním záplavového území v programu ArcMap s extencí HEC-GeoRAS a programem HEC-RAS. Āelem pŕce je prozkoumání záplavových území, a to plochu záplavových území a výšku hladiny pŕi jednotlivých rozlivech. Výsledky jsou nsledn slovn popsány, uvedeny v tabulkách a grafem, a srovnány s veřejn pŕstupnm modelem záplavových území z projektu DIBAVOD.

3 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Vybraný úsek vodního toku dosahuje délky 8 říčních kilometrů. Osmý až šestý říční kilometr řeka Odra protéká městskou částí Starý Bohumín. Jedná se o historické jádro města Bohumín. Od 6 říčního kilometru řeka protéká přírodní památkou Hraniční meandry Odry. Řeka zde vytváří 5 velkých meandrů. V oblasti 0 říčního kilometru se řeka Olše vlévá do Odry, která opouští Českou republiku a pokračuje dále v Polsku. [2]

V Bohumíně tvoří Odra konečnou část horního toku řeky. Orograficky je území řazeno do Ratibořské pánve. V nivě řeky leží město Bohumín a polská města Chalupki a Zabelkow. Z hlediska nadmořské výšky se jedná o třetí nejnižší místo v České republice. Udávají se hodnoty 194 až 198 metrů nad hladinou moře. [3]

Odra v Bohumíně patří mezi dobré příklady řek s přirozeným vývojem koryta. V 30. letech 20. století docházelo k drobným vodohospodářským úpravám, avšak tyto úpravy neubraly rozmanitost toku. [4]

3.1 NATURA 2000

Sedm přírodních stanovišť zájmového území má evropský význam a jsou uvedeny ve směrnici o stanovištích soustavy NATURA 2000. Mezi uvedené stanoviště patří přírodní jezera, nížinné a podhorské vodní toky, bahnité říční břehy, vlhkomilná vysokostébelnatá společenstva nížin a horského stupně, nížinné sečené louky, měkké lužní lesy a tvrdé lužní lesy. Soustava chráněných území Natura 2000 zakotvuje do českého právního řádu novelou zákona (1.1 2018) č. 114/1992 Sb. O ochraně přírody a krajiny. [5]

Cílem Natury 2000 je ochrana biologické rozmanitosti, zachování a zlepšení stavu stanovišť. Každý stát EU je povinen, podle stanovených kritérií, vymezit určité lokality a zajistit jejich ochranu. Za přípravu odpovídá Ministerstvo životního prostředí ČR a odborné podklady připravila Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Hraniční meandry patří mezi evropsky významné lokality. Návrhy území musí vycházet z vědeckých poznatků. Stát má povinnost zajistit trvalou péči o území Natury 2000. Natura 2000 se snaží o sladění sociálních, regionálních a hospodářských zájmů s ochranou přírody. [5]

3.2 Přírodní památka

Zájmové území náleží z části statutu přírodní památky dle ochrany území z hlediska zákona č. 114/92 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Přírodní památka dále jen PP, je přírodní útvar menších rozměrů. Jedná se o naleziště nerostů nebo naleziště vzácných druhů s regionálním ekologickým nebo estetickým významem. Poškození přírodní památky je zakázáno. PP a další ochranné podmínky jsou vyhlášeny nařízením příslušného krajského úřadu. Státní správu vykonává krajský úřad. Krajský úřad zpracovává a schvaluje plán péče, povoluje činnosti v PP a zpracovává výjimky ze zákazů. [5]

Ochranná pásma PP zabezpečují území proti okolním rušivým vlivům. Tato ochranná pásma vyhlašuje orgán, který PP vyhlásil. Plány péče jsou koncepční dokumenty navrhující opatření pro zachování nebo zlepšení stavu předmětu ochrany. Plán péče bývá schválen obvykle na 10 až 15 let. [5]

4 PŕRODN POMŘY

V následujících podkapitolách jsou shrnuty pŕrodn pomřY zjmovho useku řeky Odry.

4.1 Geologie

Geologick stratifikace je shrnuta do následující tabulky (Tabulka 1).

Tabulka 1 Geologick stratifikace, (zdroj: [2], upravila: Raszková)

Soustava	esk masív – pokryvn utvry a postvariské magmatity
Oblast	Kvartér
Eratm	Kenozoikum
tvar	Kvartér
Oddlen	Holocén
Typ horniny	Sediment nezpevnn
Hornina	Hlína, psek, šterk
Popis	Nivní sediment
Zrnitost	Hlína, psek, šterk
Geneze	Fluviální nelenn + sedimenty vodních ndrz

Ráz krajiny na Bohumínsku byl vytvořen tzv. pevninskm ledovcem. Díky jeho působení došlo ke změně skladby zdejšího šterku. Šterk obsahuje valounky, horniny oderskch a beskydských hor. [7]

4.2 Geomorfologie

Dle Jaromíra Demka (2006) spadá zjmov do následujících geomorfologických jednotek (Tabulka 2). [8]

Tabulka 2 Geomorfologick jednotky, (zdroj: [9], upravila: Raszková)

Provincie	Zpadn Karpaty
Podprovincie	Vněkarpatské sníženina
Oblast	Severní Vněkarpatské sníženina
Celek	Ostravsk pánev
Podcelek	Ostravsk niva

Vývoj Ostravsk pánve je spojen s pevninskm ledovcem. Oblast je velmi ovlivněna těžbou uhlí.

4.3 Hydrologie

Dle ročního chodu řeky, odtéká nejvíce vody v březnu a dubnu. Největšího odtoku dosahuje v říjnu. Hydrologický režim je především ovlivněn manipulací vodních nádrží a také odběrem a vypouštěním odpadních vod. Mezi vodní nádrže ovlivňující Odru patří Slezská Harta, Kružberk a Šance. [10]

Základní hydrologické informace jsou shrnuty do následující tabulky (Tabulka 3):

Tabulka 3 Hydrologické informace, (zdroj: [11], upravila: Raszková)

Název toku	Odra
Správce toku	Povodní Odry
Identifikátor toku	200010000100
Hydrologické pořadí	02-03-03
Povodí	Povodí Odry
Plocha povodí	213 km ²
Celková délka toku	133,901 říčních kilometrů
Kategorie toku	Hlavní vodní tok

V zájmovém území řeka Odra dosahuje široké nivy. Největší povodní, kterou řeka Odra v Bohumíně zažila, byla v roce 1997 (Tabulka 4). [12]

Tabulka 4 Průtoky řeky Odry, (Zdroj: [4], upravila: Raszková)

Průtoky	Průtok v m ³ /s
Q _{M-denní}	48,1
Q ₂ (řeka vybřežuje)	551
Q ₅	736
Q ₂₀	1180
Q ₁₀₀	1805
Nejvyšší naměřený průtok rok 1997	2160

Odra v Bohumíně při větších průtocích vytváří hned několik slepých ramen a tůní. V bezprostřední blízkosti se nachází dvě vodní plochy. Malý Kališok je umělou nádrží. Jedná se o šterkovnu s rozlohou 5 ha. Druhou vodní plochou je mrtvé rameno U Loděnice s rozlohou 1,5 ha. [3]

4.3.1 Hydrogeologický vrt

V zájmovém území se nachází jeden hydrogeologický vrt. Vrt se zabývá stavem podzemních vod. Podrobnější informace jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 5):

Tabulka 5 Hydrogeologický vrt, (zdroj: [11], upravila: Raszková)

Název objektu	Bohumín (Nový Bohumín)
Číslo hydrologického pořadí	2-03-02-0120-0-00
Typ objektu	Mělký vrt
Obec/katastr	Bohumín
Hydrogeologický rajon	2261
Nadmořská výška odběrného bodu	197,75 m n. m.
Hloubka objektu	13 metrů
Pobočka ČHMÚ	Ostrava

4.4 Klimatologie

Dle Evžena Quitta patří Bohumín do teplé klimatické oblasti s označením MT10 (Tabulka 6). Dle Tolasze (2007) zájmovou oblast řadíme do skupiny W2. [13]

Tabulka 6 Klimatologie Bohumín, (Zdroj: [13])

Počet letních dnů	40 až 50 dnů
Průměrná letní teplota	15 až 16 °C
Vydatnost srážek v letních dnech	200 až 400 mm
Počet mrazových dnů v přechodném období	100 až 140 dnů
Průměrná jarní teplota	7 až 8 °C
Průměrná podzimní teplota	8 až 9 °C
Počet ledových dnů v zimě	50 až 60 dnů
Průměrná teplota v zimě	-2 až -3 °C
Zimní srážková vydatnost	Nad 400 mm
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 dnů

Dle výše uvedené tabulky patří město Bohumín do mírně teplé klimatické oblasti a dlouhým létem, které je teplé a mírně suché. Jaro a podzim je mírně teplý. Zima je mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. [13]

4.5 Pedologie

Fluvizem jsou půdním typem zjmovho uzem. Jedná se o velmi urodn nivní půdy. Základními fluvickmi znaky jsou vrstevnatost, kterou tvoŕ nepravideln rozložiteln organick látky. Oblzky tvoŕ skelet. Fluvizem mají stedn obsah humusu a prohumoznn je znan hlubok. Tento typ se vytvŕ v nivách řek z povodnovch sedimentů. Probíhá zde glejov proces z důvodu trvale zvyšen hladiny podzemní vody. Zemina se obarvuje na šedou, zelenkavou a namodralou barvu. [14]

4.6 Flora

Flora řeky Odry v Bohumíně je typick pro zplavov uzem meandrujících řek. Korytotvorn procesy, jako jsou pŕesuny a pravideln záplavy podporují rozvoj rostlinných stanoviště. V rámci zjmovho uzem hovoŕme o pŕirodn památce Hraniční meandry Odry, kde se nachází bohat flora. [15]

Nachází se zde jezírka, kde můžeme nalézt tyto zástupce: vodní lilie (*Nupharo Nymphaeetum*), stulík žlut (*Nuphar luteum*), leknín bl (*Nymphaea alba*). Na dalm stanovišti nalézáme bylinn společenstva: opletnk plotn (*Calystegia sepium*), chmel otiv (*Humulus lupulus*), vrbovka chlupat (*Epilobium hirsutum*). Stromovmi zástupci jsou jilm vaz (*Ulmus laevis*), lípa malolist (*Tilia cordata*), dub letní (*Quercus robur*) a javor klen (*Acer pseudoplatanus*). Stanoviště zde mají i druhy cizho původu: kŕdlatka japonsk (*Reynoutria japonica*) a topinambur hlznat (*Helianthus tuberosus*). [16]

4.7 Fauna

Pŕirodn památka Hraniční meandry Odry skýtá dobr podmínky pro život různých živočichů. Kolem meandrů můžeme nalézt více než 20 druh savců. Patŕ mezi n bobr evropsk (*Castor fiber*), vydra říční (*Lutra lutra*). Vybran oblast patŕ do ptačí oblasti IBA Heŕmansk stav – Stružka. K nejvznamnjm zástupcům patŕ lednek říční (*Alcedo atthis*) a bŕehule říční (*Riparia riparia*). Plazi jsou zastoupeni ještěrkou obecnou (*Lacerta agilis*) a uovkou obojkovou (*Natrix natrix*). Ve vodách zahlédneme hoŕavku (*Rhodeus sericeus*), piskoŕe (*Misgurnus fossilis*) nebo parmu (*Barbus barbus*). [15]

5 POVODEŇ

Povodeň podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), dle § 64 se povodní rozumí „*přechodné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody nebo stav, kdy voda nemůže z určitého území dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný*“. [17]

Mezi další zákon velmi úzce spjatý s povodněmi je zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších právních předpisů. Zákon obstarává základní údaje o integrovaném záchranném systému s jednotlivým uvedením jeho dílčích složek. Dále upravuje působnost a pravomoc kompetentních orgánů státní správy a samosprávy. Jsou zde uvedeny práva a povinnosti fyzických a právnických osob při provádění záchranných a likvidačních prací v souvislosti s řešením mimořádných a krizových událostí. [18]

Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), ve znění pozdějších právních předpisů. V případě, kdy je při povodních vyhlášen stav nebezpečí nebo nouzový stav se stává povodňová komise součástí krizového štábu kraje a Ústřední povodňové komise. Předsedou povodňové komise je starosta obce, přednosta okresního úřadu a ředitel krajského úřadu určený Ministerstvem vnitra. Komise města Bohumín má 24 členů. [19]

Vyhláška č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území. Vyhláška vymezuje termín záplavové území jako území vymezeno záplavovou čarou. Záplavová čára je křivka, která odpovídá průsečnici hladiny vody se zemským povrchem při povodních. [20]

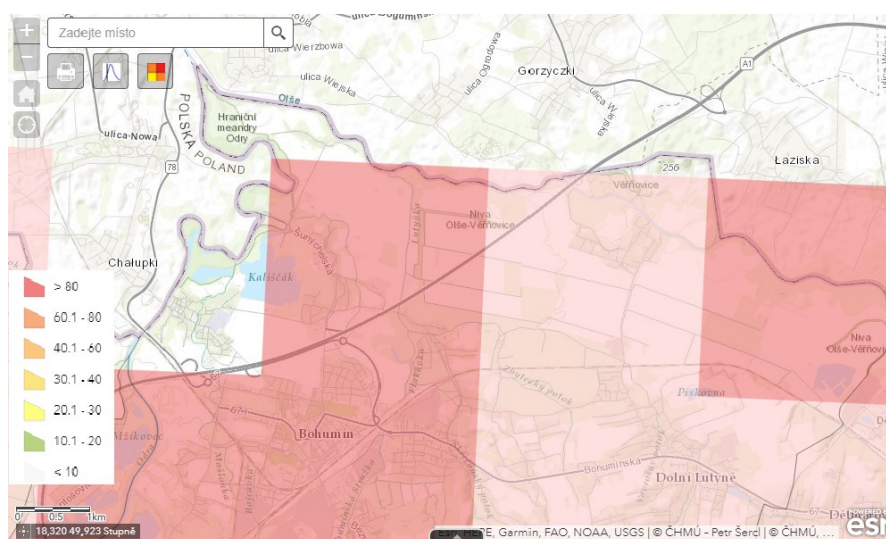
5.1 Rozdělení povodní

Povodně se dělí dle příčiny vzniku na povodně přirozené a povodně zvláštní. O přirozených povodních se hovoří jako o výrazném zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod způsobených přírodními jevy. Řadí se zde např. zimní a jarní povodně způsobené táním sněhové pokrývky, letní povodně způsobené dlouhotrvajícími regionálními dešti, letní povodně způsobené krátkodobými srážkami velké intenzity nebo zimní povodně způsobené ledovými jevy. [21]

Zvlstn povodn vznikají umlymi jevy, které jsou zapřchinny a ovlivnnyinnosti
lovka. Napřklad se může jednat o povodeň způsobenou poruchou vodního díla nebo
o povodeň vzniklou nouzovm řešenm kritick situace na vodnm dle. Zpravidla zvlstn
povodn dosahují vt průtoků, a proto jsou následky mnohem ničivější než u přirozen
povodn. [22]

5.1.1 Deřov povodn

Deřov povodn jsou vyvolávány kapalnými srážkami. Dle intenzity srážek lze deřov
povodn rozdelit na deřov povodn z trvalých srážek a deřov povodn z přivalovch
srážek (více než 30 mm/h). Povodn z trvalých srážek vznikají z jednodenních nebo
vícedenních trvalých srážek. Tento druh srážek je vázán na sržkotvorn cyklony. Hlavní
roli zde hraje poloha a rychlost cyklony. Krátkou dobou trvání srážek se vyznačují
povodn z přivalovch srážek. Srážky jsou charakteristick velkou intenzitou. Intenzita
srážek dosahuje desítek mm až stovek mm za hodinu (Obrázek 2). Doprovodem je
zpravidla bouřka. Jinm názvem povodn tohoto typu označujeme jako bleskov povodn.
Jejich nástup je velmi rychl a mnohdy nečekání. Povodnov vlna m rychl vzestup a
krtk trvání. Povodeň v lokálním měřítku vytváří znan škody. Charakteristika daného
druhu deřov povodn může být v určitých případech velmi tžk. Mnohdy bouřkov
přivalov deř přejdou v trval srážky a naopak. [10]



Obrázek 2 Indikátor přivalovch povodn Bohumín, (Zdroj: [23], upravila: Raszková)

Wussv index (metoda) napomáhá k analýze přivalovch deř. Metoda je bžn uřivanou
praxí ČHMÚ. Metoda definuje přivalov deř (lijáky) jako vydatn deř s krátkou dobou

trvání, které spadnou na malé ploše. Pro jednotlivé délky trvání deště (v minutách) metoda stanovila hraniční hodnoty sum srážkových úhrnů. Po překročení těchto hodnot se klasifikuje déšť jako liják, silný liják a katastrofální liják. Pokud déšť trvá 1 – 60 minut, hodnoty se určují tabelárně, pokud se jedná o delší časový úsek, je nutné přistoupit k výpočtu vzorců. Například pokud déšť trvá hodinu až hodinu a půl postupuje se podle vzorce $\sqrt{5t} < h \leq 1,5\sqrt{5t}$. Kdy za t dosazujeme dobu trvání deště v minutách a za h úhrn srážek v mm. [24]

5.1.2 Sněhové povodně

Sněhové povodně mohou vzniknout při tání sněhové pokrývky. Období je charakteristické kladnými teplotami v zimním a jarním období. [10]

5.1.3 Smíšené povodně

Smíšené povodně vznikají při tání sněhu a dešťových srážkách. Důležitou roli zde hrají povětrnostní situace na konci zimy, které přináší vyšší teploty. [10]

5.1.4 Ledové povodně

Základem jsou déle trvající mrazy. Díky nim dojde k zámrazu řek. Následuje náhlé oteplení, které způsobí odchod ledu. Zvyšuje se riziko ledových zácp a zatarasení průtočného profilu. Důsledkem je zmenšení průtočnosti a výrazné vzdušení vodní hladiny. [10]

5.1.5 Specifické povodně

Mezi specifické povodně řadíme povodně bez přímé vazby na meteorologické podmínky. Například při přehrazení toku sesuvem půdy. Zde patří i ucpání mostních otvorů, propustků či koryta splaveninou. Dalším typem jsou povodně vzniklé zpětným vzdušením. Vznikají v důsledku vyšší hladiny na hlavním toku. Splaveninové povodně vznikají při vytvoření ničivého proudu vody, bahna, šterku či kamení. Jinak se také nazývají blokovobahenní proudy nebo mury. [10]

5.2 Faktory charakterizující povodeň

Povodeň je charakteristická povodňovou vlnou. Povodňová vlna je přechodné zvýšení a následné snížení průtoků a vodních stavů. Určujícím faktorem je pro nás objem vlny, tvar

a vrchol. Počátek povodňové vlny nastává v okamžiku, kdy dojde k velmi rychlému zvětšování průtoků. Vrcholem je kulminační průtok, tedy maximální průtok (Q_{\max}). Mezi faktory charakterizující povodeň patří faktory meteorologické, hydrologické a antropogenní. [25]

5.2.1 Meteorologické faktory

Meteorologické faktory se dělí na předběžné a příčné. Předběžné faktory trvají dny až měsíce před vznikem povodně. Řadíme zde nasycenost povodí, promrznutí půdy, výška sněhové pokrývky. Příčnými faktory jsou faktory působící hodiny až dny před povodní. Patří zde dešťové srážky, kladné teploty při oblevách a rychlost větru. [25]

5.2.2 Hydrologické faktory

Také hydrologické faktory se dělí na faktory předběžné a příčné. Předběžnými hydrologickými faktory jsou intercepce, retence, infiltrace a objem. Intercepce je zadržující účinek vegetace padající srážky. Hlavní charakteristikou intercepce je druh, hustota a vývoj daného porostu. Porost napomáhá k zadržování nebo ke zpomalení pohybu vody na povrchu a tím prodlužuje dobu možného vsaku. Retencí rozumíme schopnost zpomalovat odtok ze spadlých srážek naplňováním depresí krajiny. Dochází k dočasné akumulaci vody. Infiltrace je vsakování vody do půdních vrstev nebo zvodní podzemních vod. Závisí na typu půdy, mocnosti, porovitosti a nasycení vody. Kapacita říční sítě neboli objem se zabývá plností koryt. Patří zde také voda vtlačená do porů díky hydrostatickému tlaku. Mezi příčné faktory patří srážky, tání sněhu, ledové jevy na tocích, příboj, mořské dmutí, náhlé tání ledovců nebo svahové pohyby. [22]

5.2.3 Antropogenní faktory

Do antropogenních faktorů řadíme způsob obhospodařování pozemků kolem koryta řeky. Dále je důležitá krajinná struktura, zemědělské kultury, lesy, louky, pole, přítomnost vodního díla a retenční schopnost. Mezi důležité antropogenní faktory řadíme snahu o využívání vodních děl a říčních sítí jako vodní dopravní cesty, zdroje energie nebo zdroje užitkové vody. Člověk se pokouší o regulaci, kterou ovlivňuje hydrologický režim krajiny. Dopouští se likvidace přirozených meandrů řek napřímením vodních toků. Díky těmto krokům dochází k rychlému odvodu vody z krajiny a následkem je likvidace přirozené

zásoby vody. Lidé ruší drobné vodní nádrže, kácí lesy, přeměňují říční nivu v kulturní krajinu (zástavba rodinných domů), vše má za následek změny přirozeného koloběhu vody. [22]

5.3 Povodně na Bohumínsku

Bohumínsko je oblast zahrnující obec Bohumín, Dolní Lutyni a Věřňovice. Bohumínsko prodělalo řadu změn v územní organizaci, při kterých docházelo k reorganizaci státních hranic. Srážky na Moravě a ve Slezsku jsou typické svou prostorovou a časovou proměnlivostí. V zimě (říjen – březen) jsou srážky dané přechody frontálních systémů, které jsou závislé na tlakové níži. Srážky vznikají převážně z nimbostrátů. V létě (duben – září) nejsou vzácné výstupní konvekční pohyby, které doprovázejí kupovité oblačnosti, především cumulonimby. Léta se vyznačují krátkodobými přívalovými srážkami velké intenzity. [10]

Pozorování vodních stavů v časech povodní je doloženo od roku 1820. Roční kulminační průtoky se zapisují a uchovávají od roku 1890 (Významné povodně v Čechách, především na Vltavě). Denní průtoky měrná stanice Bohumín zaznamenává od roku 1920, kdy byl ustanoven Státní ústav hydrologický (Tabulka 7). [26]

Tabulka 7 Průtoky Odry v Bohumíně, (Zdroj: [27] , upravila: Raszková)

	m^3s^{-1}
Průměrný roční průtok	48,1
Maximální naměřený průtok (8. července 1997)	2160

V závislosti na ztrátách majetku a lidského života jsou povodně na Moravě a ve Slezsku nejničivějším přírodním extrémem. Povodně lze definovat jako kulminační průtok, což je největší vrcholový průtok u průtokové vlny (Obrázek 3). [26]



Obrázek 3 Povodňová vlna Bohumín 1997, (zdroj: [26])

5.4 Příčina vzniku povodní v Bohumíně

Povodně v Bohumíně mají příčinu především v klimatické charakteristice regionu. Celoroční průměrná hodnota srážek dosahuje 770 mm. Úhrny srážek jsou rozmístěny nerovnoměrně. Většina srážek připadá na letní měsíce. Červenec dosahuje hodnoty 106 mm a srpen 102 mm (období od roku 1961 až 2000). V tyto měsíce nejvíce Bohumínsko trápí povodně. Do dnešní doby Bohumín zažil 16 větších zaznamenaných povodní (19. a 20. století). Z toho jich sedm bylo v červenci, tři v červnu, tři v srpnu a po jedné povodni v květnu, září a říjnu. Bohumínsko trpí povodněmi z důvodu soutoku dvou řek, Odry a Olše. Tyto dvě řeky tvoří většinu povodí v Moravskoslezském kraji. Na soutoku se při záplavách sejdou přívalové vody jak z Jeseníků, tak z Beskyd. Přispívá zde i tvar reliéfu, který je rovný s mnoha vodními plochami. [10]

5.5 Historické povodně Bohumínska

Již v roce 1492 byla vydaná kupní smlouva o zřízení rybníku v městě Bohumín. V první polovině 18. století bohumínské panství uvádí celkem 28 rybníků. V současné době se v zájmovém území nachází pouze Velký a Malý Kališok. [12]

První špatné zacházení s málo propustnou zeminou nastalo v letech 1846 až 1847 při výstavbě Severní dráhy císaře Ferdinanda. Docházelo k ukládání zeminy, k vyvýšení

železničních trámů a kolem trati zůstávaly zatopené příkopy, kterým se říkalo figury. Příkopy měly mít odvodňovací funkci. Z důvodu mírného sklonu docházelo k zadržování vody a ke vzniku bažin. Do 30. let 19. století bohumínští obyvatelé nezaznamenávali velké škody na majetku při rozlivech řeky Odry. Kolem koryta řeky byly téměř nedotčené lužní lesy, které napomohly k zabránění větších škod. Při výstavbě sídliště byl navezen štěrk z řeky do výšky až 150 cm. [12]

Ve druhé polovině 19. století s následkem průmyslové revoluce se zvýšil počet obyvatel a zástavba začala zasahovat až do nivy řeky Odry. Škody způsobné povodněmi dále rostly. Docházelo k regulacím toku, např. k napřímení toku, kde sice se zvýšil odtok přívalových vod, ale řeka ztrácela retenční schopnost. První pokusy o protipovodňové valy zklamaly z důvodu špatné lokalizace valu. [12]

Od 13. století do 19. století bylo na Ostravsku zaznamenáno 39 povodní. První zmínka o povodních v Bohumíně je až z 16. století v letech 1531, 1542 a 1593. V 18. Století se povodně konaly v roce 1723, 1774 a 1784. Deset velkých povodní zasáhlo Bohumín v 19. století (1813, 1831, 1846, 1847, 1854, 1879, 1880, 1881, 1894 a 1897). [12]

Ve 20. století nastala důležitá změna se zaznamenáváním číselných údajů o povodních a vodních stavech (do této doby se nedochovaly žádné číselné údaje). V následující tabulce je uvedeno 5 nejničivějších povodní v Bohumíně ve 20. století (Tabulka 8). [12]

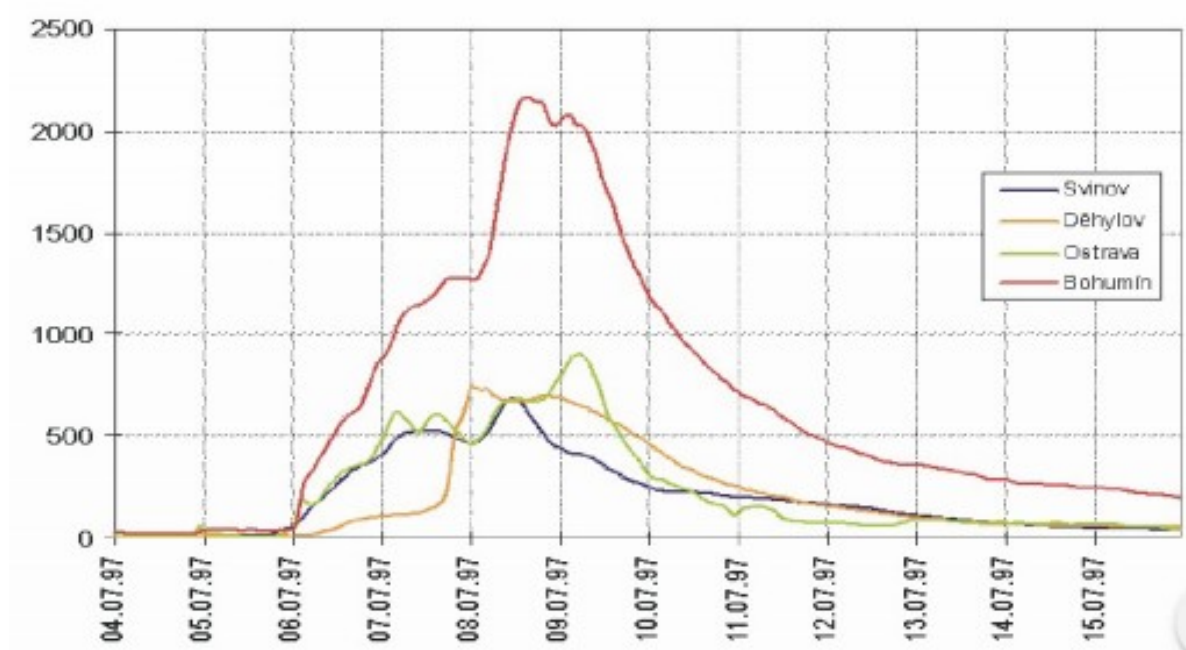
Tabulka 8 Soupis 5 nejničivějších povodní ve 20. století v Bohumíně, (zdroj: [6], upravila: Raszková)

Pořadí	Datum	Průtok řeky Odry m^3s^{-1}
1.	8. 7 1997	2160
2.	11. 7 1903	1500
3.	27. 7 1939	1360
4.	20. 6 1902	1220
5.	50. 5 1940	1160

5.5.1 Povodeň v roce 1997 v Bohumíně

Dle tabulky č. 8 řadíme povodeň v roce 1997 jako nejničivější povodeň v Bohumíně od 20. století. Povodeň trvala od 5. do 16. července nejen v Bohumíně, ale v celém Slezsku, na Moravě a východě Čech. Povodeň dále zasáhla Polsko, Slovensko a Rakousko. [27]

Vzniku povodně napomohla dlouhotrvající srážková činnost se silícím deštěm především v oblastech Beskyd a Jeseníků. Okolní řeky právě této oblasti přiváděly další velké množství vody do samotné rozvodněné řeky Odry, která již nemohla pojmout množství vody, a došlo k rozlivu. Město Bohumín bylo zatopeno z 70% svého území. 8. července dosahoval průtok řeky Odry hodnoty $2160 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Obrázek 4). Vzhledem k lokalizaci města Bohumín na soutoku řek Odry a Olše je nutné podotknout, že povodeň v roce 1997 byla zapříčiněna řekou Odrou, která dosahovala průtoku Q_{350} . Řeka Olše dosahovala pouze průtoku Q_{20} . [10]



Obrázek 4 Průtoky (m^3s^{-1}) řeky Odry v roce 1997 v jednotlivých zasažených městech, (zdroj: [28], upravila: Raszková)

5.6 Ochrana před povodněmi

Dle legislativy se ochranou před povodněmi zabývá § 65 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Hovoří se zde o činnosti a opatření k předcházení a zvládnutí povodňového rizika. Předchází se ohrožení zdraví a životů, majetku a životního prostředí. Ochrana před povodněmi se dělí na tři úrovně povodňových opatření. Jedná se o přípravu na povodeň, opatření během povodně a poslední je opatření po povodni. [17]

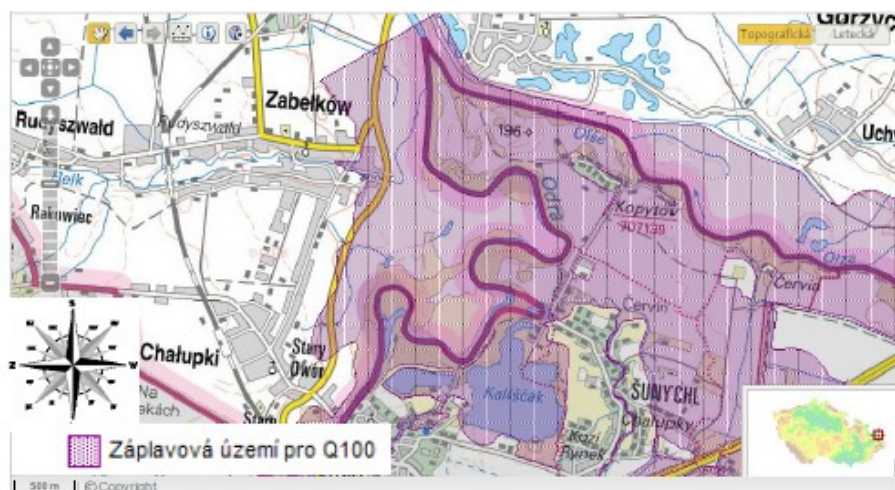
5.6.1 Pŕprava na povodn

Jedná se o pŕpravn opatŕen pŕed povodn. Základem je stanoven zplavovch uzem. Dále je nutné vymezit smerodatn limity stupně povodnov aktivity, vytvoŕit povodnov plány a povodnov prohlídky. Pŕipravuje se také pŕedpovdn a hlasn povodnov služba, organizační a technick pŕprava. Vytvoŕen hmotnch povodnovch rezerv a pŕprava ustnk povodnov ochrany. [17]

5.6.1.1 Zplavov uzem

Zplavov uzem jsou dan zákonem . 254/2001 Sb., ve znění pozdjch pŕedpis. Zplavov uzem je definováno jako administrativn uren uzem, kter pŕi pŕirozen povodni me být zaplaveno vodou. Rozsah záplavového uzem stanovuje správce vodního toku, v pŕpad Odry se jedná o Povodí Odry. Uzem se modeluje s výskytem povodn s periodou 5 (Q_5), 20(Q_{20}) a 100 let (Q_{100}), jedná se o N-let pŕtoky (Obrázek 5). Návrh záplavového uzem se zpracovává se získanými hydrologickými udaji eskho hydrometeorologického uřadu, manipulanch řd vodnch dl (vzdouvání nebo akumulace vod), základní mapu esk republiky 1 : 10 000 a základní bázi geografickch dat. Zamřen podln a pŕn profily a hydraulick výpočty. Poslednm udajem jsou udaje o nejv zaznamenan pŕirozen povodni. Pokud se jedná o zastavěnou plochu, vymezuje vodopŕvn uřad takzvanou aktivn zónu. Aktivn zóna je zastavn plocha v obch, kter pŕi povodnch odvádí značnou část celkového pŕtoku a bezprostŕedn ohroujeivot, zdrav a majetek lid. [17]

Dle zákona . 254/2001 Sb., ve znění pozdjch pŕedpis, platí omezen využívání zplavov zóny a aktivn zóny. Nesmí zde docházet k povolování staveb (výjimka vodnch dl), k těžbě nerostnch surovin, uprav terénu, kter by zhoršovaly povrchov odtok. [17]



Obrázek 5 Záplavové území Bohumín Q100, (Zdroj: [27], upravila: Raszková)

5.6.1.2 Stupně povodňové aktivity

Dle zákona č. 254/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, se jedná o míru povodňového nebezpečí, která je vázána na směrodatné limity. Limity jsou určovány vodními stavy a průtoky v hlásných profilech. Rozeznáváme tři stupně povodňové aktivity, stav bdělosti, stav pohotovosti a stav ohrožení (Tabulka 9). [17]

Tabulka 9 Stupně povodňové aktivity, (zdroj: [9], upravila: Raszková)

Stupně povodňové aktivity	I.	II.	III.
Vodní stav (cm)	400	500	600
Průtok (m^3/s)	314	499	847

Prvním stupněm, stav bdělosti (označován zelenou barvou), rozumíme nebezpečí přirozené povodně, kterému je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Stav bdělosti vyhláší předpovědní povodňová služba. Činnost zahajuje hlídková a hlásná služka, která hlídá vývoj hladiny vodního toku nebo jinému zdroji povodňového nebezpečí. Druhý stupeň, stav pohotovosti (označován žlutou barvou), je ohlášen povodňovým orgánem v okamžiku, kdy se přirozená povodeň mění v povodeň. Při druhém stupni nedochází k větším rozlivům ani škodám mimo koryto. Při vzniku druhého stupně se aktivizují povodňové orgány a další účastníci, kteří napomáhají k ochraně před povodněmi. Povodňová komise zajišťuje prověření skutečného stavu ve vybraných profilech, aktivizuje hlídkovou a hlásnou službu (služka v 4 hodinových intervalech obchází svůj úsek toku) a uvede do pohotovosti prostředky na provádění zabezpečovacích prací. Při II. stupni povodňové aktivity se povodňová komise stává povodňovým orgánem. Třetí stupeň, stav ohroženosti (označován

červenou barvou), bývá vyhlašován při nebezpečí a při větších škodách a rozlivech mimo koryto. Dochází k ohrožení životů a majetku v záplavovém území. [17]

5.6.2 Opatření během povodně

Během povodně již plně pracuje předpovědní povodňová služba, hlásná povodňová služba a hlídková služba. Dochází k evakuaci, povodňovému zabezpečování a k záchranným pracím. [22]

5.6.2.1 Povodňové zabezpečovací práce

Jedná se o technická opatření, která jsou uskutečňována ke zmírnění průběhu povodně. Řadíme zde odstranění zátaras z vodního toku, odstranění zátaras pod mosty, zajištění hrází proti přelití či protržení, montáž protipovodňových zátaras, ochrana před sesuvy půdy. [30]

5.6.2.2 Povodňové záchranné práce

Patří zde organizační a technická opatření, která jsou prováděna při povodni k ochraně životů a majetku. Hlavní roli zde hraje záchranný integrovaný systém a povodňové orgány. [30]

5.6.3 Opatření po povodni

Po odeznění povodně přichází čas na vyhodnocení preventivních technik, vyčíslení škod a dochází k obnově území. Je nutné zaznamenat průběh povodně, příčina vzniku a velikost škod. Tyto údaje musí být zaznamenány v povodňové knize. Dále přichází odstraňování škod, aby byla zajištěna základní funkce území. [30]

5.7 Protipovodňová opatření v intravilánu

Koryta vodních toků protékající intravilánem (zastavěným územím) mají obvykle dva požadavky. Jedním z nich je, aby koryto bylo průtokově kapacitní z hlediska okolní zástavby, která by měla být co nejméně zaplavována povodněmi. Druhý požadavek je, aby koryto bylo stabilní. Mnohdy koryto vede stísněnými podmínkami a není zde místo pro vývoj koryta do stran. Při plánování protipovodňových opatření je nutné dbát nejen na ekologický a estetický stav, ale také na dopady na vodní ekosystémy a hydromorfologii. Dle směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ustanovující rámec pro činnost

Společenství v oblasti vodní politiky je nutné dbát na dobrý ekologický stav a dobrý ekologický potenciál povrchové vody. [31], [32]

V intravilánu je nutné respektovat nadřazenost ochrany zástavby nad povodňovým zaplavováním. Základem je vytvořit dostatečnou kapacitu koryta, která by měla být získávána především šířkou nikoliv hloubkou koryta. Mezi citlivé vodohospodářské řešení přechodu mezi volnou krajinou a zástavbou je vybudování tlumivého povodňového rozlivu, který je následně sveden do soustředěného povodňového průtoku z nivy do kapacitních intravilánových koryt. V dolní části zástavby je nutné regulovat zpětné povodňové vzdutí. [31], [32]

Mezi základní metody protipovodňových opatření patří zvětšení říčního prostoru jeho rozšířením, kombinace technických a přírodě blízkých opatření (hráze, stěny), členitost kynety koryta, využití poldrů, rekonstrukce a obnova starých ramen. [31], [32]

5.8 Protipovodňová opatření v zájmovém úseku řeky Odry (8 – 0 říční kilometr)

Novodobá protipovodňová opatření vycházejí ze zkušeností v roce 1997. Výstavba protipovodňových opatření v Bohumíně byla rozdělena do dvou etap dle časového uskutečnění realizace protipovodňových opatření. První etapa byla realizována od roku 2002 do roku 2007. Druhá etapa od roku 2007 do roku 2012. Pro náš zájmový úsek toku řeky je důležitá etapa č. 1. [33]

5.8.1 První etapa protipovodňového opatření

Při první etapě bylo postaveno 8 staveb protipovodňové ochrany (hráze, odlehčovací příkopy). Tato etapa prací zajišťuje ochranu zástavby části města Starý Bohumín proti Q_{100} řeky Odry. Stavba č. 1 se zabývá zajištěním ochrany Starého Bohumína před vodami s řeky Odry. Jedná se o výškovou úpravu hráze, která chrání intravilán proti vodám z Odry. Celková délka upravovaného úseku činí 408 m, kdy původní hráz byla doplněna o hlinitý nebo jílovitý materiál. Výškové navýšení činí 0,4 m. Stavbou č. 4 je hráz Kališčák. Byla vybudována hráz o délce 1,372 km. Hráz je vybudována mezi řekou Odrou a rybníkem Velký a Malý Kališok. V hrázi je propustek, který slouží k převádění povrchových vod. Propustek je vybaven vřetenovým šoupátkem s uzamykatelným poklopem. Další stavby nestojí v zájmovém úseku a proto nejsou blíže popsány [33].

6 HYDRODYNAMICKÉ MODELOVÁNÍ

Hydrologické modelování lze definovat jako program, který převede pomocí matematických operací zadané vstupní informace na informace výstupní. Celkové hydrologické modelování lze rozdělit do dvou skupin. První skupinou je srážko-odtokové modelování a druhou hydrodynamické. Pro svou práci jsem vybrala druhou kategorii, která simuluje transformaci vodní masy v korytech. Výstupem modelování je zjednodušený reprezentační systém například koryta vodního toku, průtoků a charakteristiky povodí. Výhodou modelování počítačovou technikou je množství výstupních dat, ačkoliv se výstupy mnohdy liší od reality. [34], [35], [36]

Jedno z možných dělení hydrodynamických modelů je podle počtu dimenzí. Prvním modelem je 0D model. Zde prostorový atribut není zahrnut a je zde důležitý pouze čas. Druhým případem je 1D model, který má zahrnut prostorový atribut. Ve spojitosti s hydrodynamickým modelováním jsou řešeny změny hladin jen v hlavním směru pohybu vodní masy. Dále 2D model zahrnuje dva prostorové atributy (vertikální a horizontální). Při hydrodynamice se využívá k modelování proudění v korytech, kde jsou řešeny změny hladin v hlavním směru pohybu vody. Občas je možné se setkat s 2,5D modelem, který ačkoliv využívá tři prostorové atributy, ale jeden z nich parametrizuje. Poslední možností je 3D model, který je nejkomplexnější a pracuje se třemi prostorovými atributy. [34], [35], [36]

6.1 Vstupní data

Vstupní data jsou základní jednotkou pro modelování krajiny. Dalším nezbytným krokem je jejich shromáždění a následná úprava.

6.1.1 Členění vstupních dat

Z hlediska původu rozlišujeme data na primární a sekundární. Primární data jsou pořízené prvotním sledováním stavu. Sekundárními daty rozumíme data převzatá. [37]

Dále dělíme vstupní data na data statistická a dynamická (Tabulka 10). Mezi statistická data patří data o povodí, které se během simulace výrazně nemění. Dynamickými daty myslíme data s hodnotou, která se mění v závislosti na čase. [37]

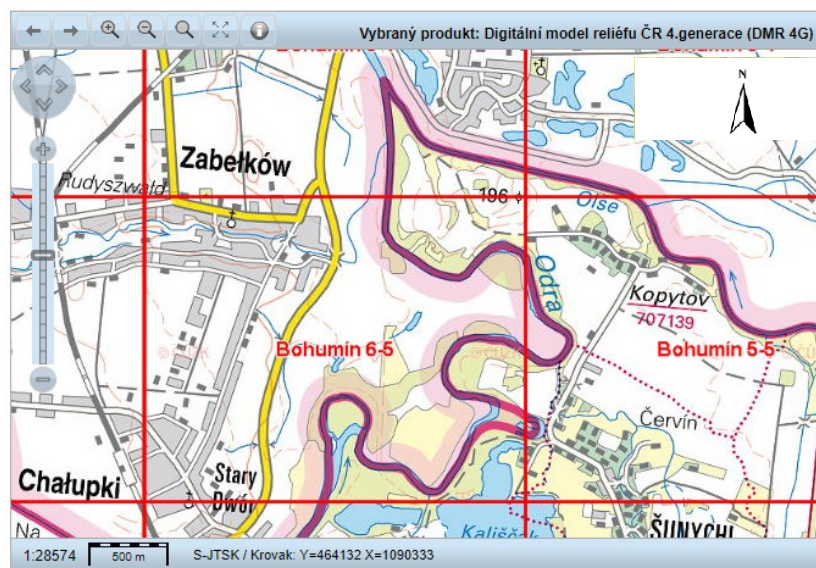
**Tabulka 10 Charakteristika statistických a dynamických vstupních dat, (zdroj: [37], upravila:
Raszková)**

Statistick data	Dynamick data
Digitální model terénu	Mřen srážky
Půdní druhy a půdní typy	Mřen teplota vzduchu
Hydrologick skupiny pd (rychlost infiltrace)	Parametry sněhové pokrývky
Parametry nádrží	Mřen vodní stavy, pŕtoky
Podln a pŕchn profily koryt	Simulace klimatických pŕvk
Krajinn pokryv	Pŕedpovď srážek
Zrnitostn křvky sedimentů	Pŕedpovď teplot

Dále vstupní data můžeme rozliřovat na topografick data, oborov data a metadata. Topografick data obsahují informace o pŕvcch, kter se vyskytují na zemskm povrchu. Jedná se o popis reliéfu zemského povrchu, vodstva a antropogenních jev. Oborov data doplnuj topografick data o prostorov a popisn data. Metadata zahrnují název, klčov slova a identifikační údaje, které slouží k ulehen pŕi vyhledávání. [37]

6.1.2 Topografick data

Topografick data patŕ do skupiny geografických dat. Jsou to potaov zpracovan informace týkající se urtch mst na Zemi. Primárním zdrojem jsou paprov mapy. Dále se využívají měření v terénu za pomocí GPS. Česk úřad zemmřck a katastrální poskytnul základní mapu ČR s měřítkem 1:10 000. Jedná se o rastrovou reprezentaci Základní mapy ČR. Souřadnicovm systémem je S-JTSK a využívá se baltského vřskovho popisu. Data jsou k dispozici z celé České republiky krom 25 vojenskch újezd. Rastrov data jsou poskytnuta ve variantě barevného bežeřvho obrazu. Obraz je poskládán zetverc o velikosti 2x2 km (Obrázek 6). [38]

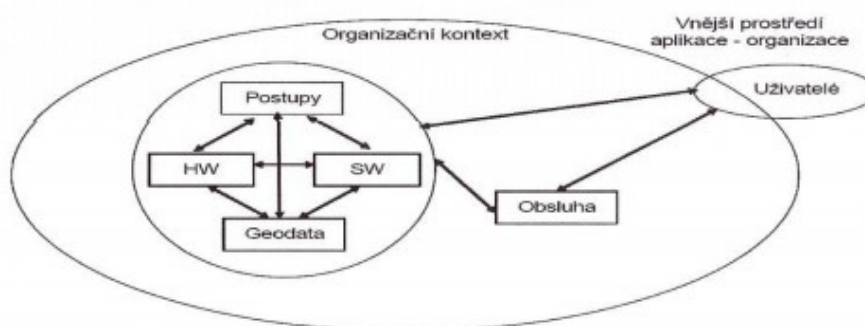


Obrázek 6 Ukázka produktu geoportálu ČÚZK,(zdroj: [38], upravila: Raszková)

6.2 Geografické informační systémy (GIS)

Geografické informační systémy jsou založeny na prostorových modelech. Díky nimž dokážou popsat rozložení objektů reálného světa v prostoru. Zahrnují popis vlastností, vztahů mezi nimi a umožňují provádět modely reálného světa. GIS se od informačních systémů (IS) liší svým rozšířením o prostorovou složku. GIS nachází mnoho uplatnění, např. v oblasti životního prostředí, dopravy. [39]

GIS se skládá ze sedmi základních částí, a to z technických prostředků, programových prostředků, geodat, postupů zpracování geodat, obsluhy, uživatelů a organizačního kontextu (Obrázek 7). [39]



Obrázek 7 GIS základní složení, (zdroj: [42])

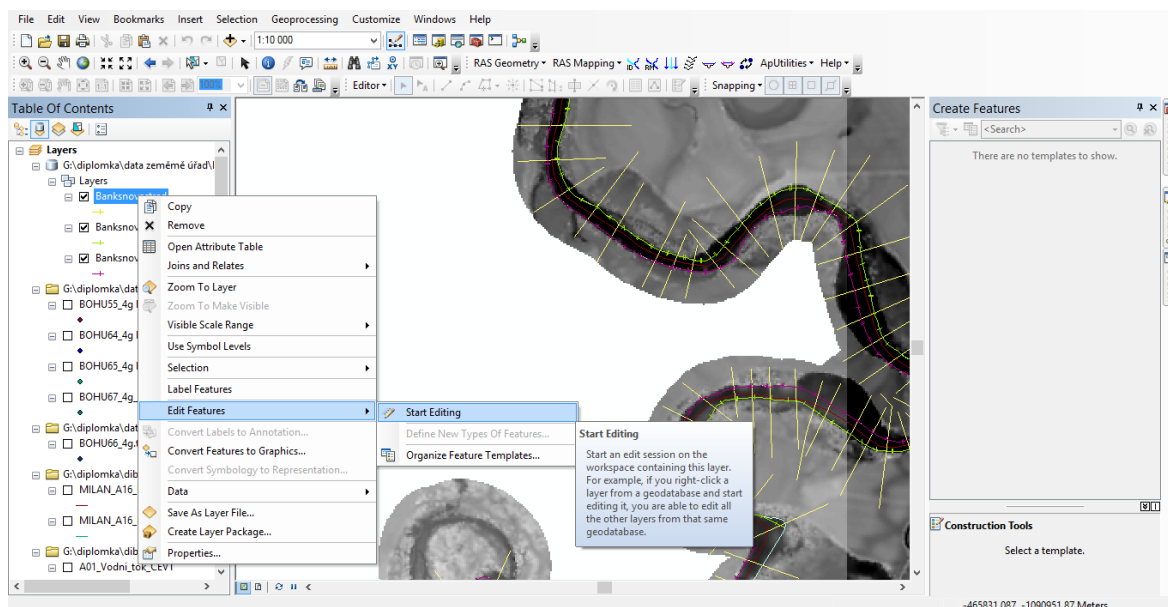
Geografický informační systém pracuje s prostorovými nebo geografickými souřadnicemi. Systém se zabývá sběrem, uchováním, tříděním a následným zobrazením dat. [39]

Přesná definice GIS zní: „*Informační systém je soubor hardware a software na získávání, spojování a vyhodnocování informací. Informační systém se skládá ze zařízení na zpracování dat, systému báze dat a vyhodnocovacích programů.*“, [40]

Geografický informační systém GIS pracuje s několika druhy dat. Prvním příkladem jsou atributová data. Doposud tato data nejsou určena. Dalším typem jsou data prostorová, která obsahují geometrii (prostorové určení) a topologii (prostorové vztahy) objektu. Geografická data (geodata) vzniknou propojením dat atributových a dat prostorových. Nejčastěji vodní toky jsou geografickým objektem geografického informačního systému GIS, což znamená určený objekt reálného světa s prvky geodat. Mezi nejdůležitější produkty GIS patří ArcGIS, ArcView, GRASS GIS a Quantum GIS. [40]

6.2.1 GIS software ArcGIS/ArcMAP

GIS naplňuje trh mnoha svými produkty. Jedním z nich je ArcGIS, který patří mezi nejznámější a nejspolehlivější z nich. Systém ArcGIS (společnost ESRI) jsou desktopové, serverovské i vývojařské produkty. ArcMap řeší všechny mapové úlohy a nalézáme zde mnoho geoprocessingových nástrojů pro zpracování dat. Aplikace napomáhá k tvorbě vrstev a prvků v mapě (Obrázek 8). [40]



Obrázek 8 Ukázka pracovního prostředí v ArcMAP, (zdroj: Raszková)

6.2.2 Extence HEC-GeoRAS

Pre-processing probíhá v extenci HEC-GeoRAS. HEC-GeoRAS je geografick analytick systém řek vyvinut ve spojení s ArcGIS. Geodatabáze analyzuje prostorov data, kter bvj využita k hydraulickému modelování, mapování zplavovch uzem, mapování lunch lesů a vypoty škod povodn. Výsledkem HEC-GeoRAS je hydrologick model, který lze importovat do HEC-RAS. [41]

6.2.2.1 TIN digitální model terénu

Pomocí extence HEC-GeoRAS dojde k vytvořen TIN. Jedná se o vřkopisn model, který pracuje s povrchy jak v trojuhelnkovm tak v gridovém formátu. Vřkov model je sestaven z lesarovho skenování a z vrstevnic geodatabáze ZABAGED. [34]

6.2.2.2 Topo to Raster

Metoda Topo to Raster vytváří hydrologick korektn model DMT. Jedná se o metodu, která dovoluťe modelovat náhlé změny reliéfu. [42]

6.3 Pŕehled hydrodynamickch modelů

Pomocí hydrodynamickch modelů dochází k simulaci transformace vodní masy v pŕrodnch i umělch korytech toku. Dle metod lze modely rozdělit na analytick, semianalytické a numerick. Analytick modely pracují na základě lehkch pŕedpoklad o hydrologickm systému, geometrii a externch hydraulickch vlivů. Analytick metody poskytují pŕesn mřen. Výhodou je snadn zadávání dat a efektivita pŕi nedostatku dat. Druhm typem jsou semianalytické modely využívj numerick postupy, které vytvřj diskretn řešení vase nebo v prostoru. Numerick modely jsou komplexn a vhodn pro řešení složitch problémů. Nejsou zatřeny zjednoduřenm pŕedpoklady. Tento druh modelu požaduje na zchtku modelování rozshl a detailn vstupní data. Nevýhodou je časov náročnost pro vložení vstupnch dat a zkušenosti s programy tohoto typu. [34]

Pro názornost jsou dále popsány dva typy analytickch modelů HEC-RAS a MIKE 11. Tyto modely uzce spolupracují s GIS (Geografick informační systémy). Źdanm výstupem jsou mapy zplavovch uzem. Mezi nejrozřřenj hydrodynamick modely patŕ MIKE 11 a HEC-RAS. Nejvřm rozdílem mezi nimi je jejich dostupnost. MIKE 11

je model komerční (nutno zakoupit licenci), naproti tomu model HEC-RAS je volně stažitelný.

6.3.1 MIKE 11

Hovoříme-li o modelu MIKE 11, jedná se o 1D hydrodynamický model (Tabulka 11). MIKE 11 patří do tzv. rodiny MIKE Zero. Díky této spojitosti může komunikovat s ostatními modely této platformy. Byl vyvinut Dánským Hydraulickým Institutem (DHI). Model klade vyšší nároky na uživatele ve srovnání s modelem HEC-RAS, díky nimž zaručí pokročilejší možnosti pro úpravu modelu a metodiky. [37]

MIKE 11 simuluje ustálené a neustálené proudění v přírodních i umělých korytech. Můžeme do něj zahrnout technické a vodohospodářské objekty (mosty, propustky, jezy). Mezi základní informace patří také transport sedimentu, nerozpuštěných látek a kvalita vody. Pro stanovení drsnosti koryta využívá vztahy Chézyho, což je hydrotechnický výpočet střední průřezové rychlosti, pracuje s hodnotou Manninga, která charakterizuje drsnost koryta. Pro pre- a postprocessing je nutné upravit data v GIS pomocí extence MIKE 11 GIS. [37]

Tabulka 11 Základní údaje modelu MIKE 11, (zdroj: [37])

MIKE 11	
Použití	Simulace proudění v přírodních a umělých korytech
Vstupní data	Digitální model terénu Hydrografická síť Podélné a příčné profily Technické objekty v tocích Měřené vodní stavy a průtoky
Výstupní data	Grafy Tabulky Rastry
Výhody	Modul dávkové simulace Kompatibilita s ostatními produkty DHI
Nevýhody	Nároky na uživatele

6.3.2 HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center je součástí US Army Corps of Engineers a ve spolupráci vyvinuli modelovací systém HEC-RAS. Název je složen z části HEC znázorňující název instituce (Hydrologic Engineering Center) a RAS v překladu Analýza říčního systému (River Analysis System). [43]

HEC-RAS se skládá ze čtyř základních jednodimenzionálních říčních analýz. Patří zde výpočet ustáleného proudění, simulace neustáleného proudění, transport sedimentů a analýza kvality vody. [43]

Analýzu ustáleného proudění můžeme vytvářet buď pro síť kanálů, nebo pro jednotlivé říční úseky. Dále díky němu můžeme modelovat v bystřinném, říčním i ve smíšeném režimu proudění v říčním profilu. Do výpočtu lze zahrnout i překážky, jako jsou například mosty, jezy nebo propustky. Díky systému ustáleného proudění můžeme zhodnotit povodňová řízení a protipovodňová opatření (Tabulka 12). [43]

Tabulka 12 Základní údaje modelu HEC-RAS, (zdroj: [43])

HEC-RAS	
Použití	Výpočet hladin ustáleného a neustáleného proudění Analýza povodňových škod Simulace nádrží
Vstupní data	Digitální model terénu Hydrografická síť Parametry nádrží Podélné a příčné profily Technické objekty v tocích Měřené vodní stavy a průtoky
Výstupní data	ASCII soubory (formáty dxf,txt) Tabulky CAD a GIS vrstvy
Výhody	Kompatibilita
Nevýhody	Nedostatečná dokumentace ovládání

6.3.2.1 Analýza ustáleného proudění

Model HEC-RAS si vypočítá profily povrchových vod pro ustálené proudění. Ustálené proudění se modeluje v bystřinném, říčním nebo smíšeném režimu proudění ve vodním toku. Výsledek počítá také s účinky překážek, jako je například most nebo propustka. Systém ustáleného proudění je využit pro zhodnocení protipovodňových opatření. [41]

6.3.2.2 Analýza transportu sedimentů

Tato analýza slouží k simulaci jednorozměrného transportu sedimentů za časové období (většinou 1 rok). Transport sedimentu je vypočítám ze zrnitostní frakce. Tento model napomáhá k porozumění a vyhodnocení usazování nádrží, předvídaní vlivů odbahnění nebo odhadu samočisticí schopnosti toku. [41]

6.3.2.3 Manningův drsnostní součinitel

Při modelování v HEC-RAS je nutné určit Manningův drsnostní součinitel. Jedná se o vlivy, které působí na drsnost koryta. Patří zde drsnost samého dna, vegetace, nepravidelnost koryta, půdorys koryta, zanášení a vymílání, překážky (bariery spláví, mostní pilíře), velikost a tvar koryta, vodní stav a průtok, sezonní změny a splaveniny. Možnosti pro určení koeficientu je několik např. pomocí tabulky, Cowanová metoda, porovnávací skutečnosti s fotografiemi, empirické vzorce na základě charakteristického zrna nebo přímým měřením. V běžné praxi se setkáváme s tabulkami, které nám zjednoduší určování drsnosti koryta v tabelární formě (Obrázek 9). [41]

Typ koryta	Doporučené hodnoty drsnosti		
	minimální	optimální	maximální
UMĚLÁ / UPRAVENÁ			
šterkové dno, stěny z hrubého betonu	0.017	0.020	0.025
kamenná dlažba na sucho	0.023	0.032	0.035
kamenité dno, stěny z hrubého betonu, lomového kamene nebo pohožu	0.025	0.035	0.045
VYHLOUBENÁ / HLINITÁ			
přímé pravidelné šterkové koryto	0.022	0.025	0.030
přímé koryto zarostlé krátkou trávou a plevelem	0.022	0.027	0.033
koryto bez vegetace	0.025	0.028	0.033
koryto s řídkými keři na březích	0.035	0.050	0.060
neudržované čisté koryto s pleveľnou trávou, případně s řídkými křovinami	0.040	0.050	0.080
neudržované koryto s pleveľnou trávou, případně s řídkými křovinami	0.050	0.080	0.120
PŘÍROZENÁ MALÁ			
malý čistý zaplněný tok bez peřejí a tůň	0.025	0.030	0.033
malý čistý zaplněný tok bez peřejí a tůň s kameny a plevelem	0.030	0.035	0.040
malý čistý tok s drobnými peřejemi a tůňemi	0.033	0.040	0.040
malý zaplevelený tok s peřejemi a tůňemi	0.035	0.045	0.050
malý čistý tok s výraznými peřejemi nebo tůňemi	0.040	0.048	0.055
malý tok s velkým množstvím kamenů a tůňemi	0.045	0.050	0.060
malý tok s plevelem a tůňemi	0.050	0.070	0.080
malý velmi zaplevelený tok s tůňemi	0.075	0.100	0.150
horský balvanitý tok, na březích stromy a keře zaplavené za povodni	0.040	0.050	0.070
PŘÍROZENÁ VELKÁ			
velký pravidelný tok bez balvanů a keřů	0.025	0.040	0.060
velký pravidelný tok s balvany nebo keři	0.030	0.055	0.085
velký nepravidelný tok s balvany nebo keři	0.035	0.070	0.100
velký tok s řídkými keři a ojedinělými stromy	0.040	0.060	0.080
velký tok s hustými stromy bez větví v proudu	0.080	0.100	0.120

Obrázek 9 Manningův koeficient drsnosti, (zdroj: [41])

7 ODTOK

Odtok (Q) bývá definován jako celkové množství vody, které odeče z plochy povodí za jednotku času (rok). Odtok dělíme na povrchový (Q_p), podpovrchový (hypodermický, Q_h) a podzemní (Q_b). Jednotkou je $m^3 s^{-1}$ nebo $l.s^{-1}$. Dále dělí odtok na odtok přímý a základní. Přímým odtokem rozumíme povrchový a prosakující podpovrchový odtok, který nedosáhl hladiny podzemní vody během trvání deště nebo bezprostředně o něm. Základní odtok je odtok pouze vody podzemní po uplynutí určitého času nebo v období bez srážek. [44]

7.1 Povrchový odtok

Povrchovým odtokem je voda, která plošně stéká po zemském povrchu. Jedná se o nejrychlejší část odtoku. Vzniknout může třemi způsoby, po překročení infiltrační kapacity půdy, opětovnou exfiltrací vody v nižších částech svahu nebo při překročení retenční kapacity. Srážková voda je zachycena intercepcí (zadržení vody na rostlinách), která je závislá na hustotě, druhu a typu vegetace a na intenzitě a délce trvání srážek. Srážky, které intercepce nezachytí, se nazývají účinné srážky. Další možností je infiltrace do půdy. Zde se zachycuje v půdním profilu jako půdní vláha v zoně aerace. Umělými drenážemi tuto vodu můžeme nechat vytékat, v tomto případě hovoříme o hypodermálním odtoku. Zbylá část srážek zásobuje podzemní vodu v zoně nasycení. Voda, která nebyla zachycena intercepcí ani se nevsákla do půdy, je odvedena k povrchovému odtoku. Dochází k tomuto příkladu v době, kdy je překročena hranice infiltrace. Tento stav přichází po vydatných deštích nebo po tání sněhu. Děj se nazývá ron (neorganizovaný vodní tok). Při každých srážkách dochází ke směně odtokové sítě. Postupně se odtok soustředí do sítě erozních rýh a poté do stálých vodních toků. [44]

Druhým případ může nastat, pokud je půda zcela nasycena. Půda vlivem tlaku podpovrchové vody vystoupí pod svahem nad povrch. Jedná se o nasycený povrchový odtok bez nutnosti dopadajících srážek. V místech zlomové linie nebo ve svazích dochází k výraznému zrychlení povrchového odtoku. Krom srážek může být zdrojem také výrony podzemních vod, voda z ledovců a z dlouhodobé sněhové pokrývky. [44]

Faktory ovlivňující povrchový odtok dělíme na přírodní a antropogenní. Mezi přírodní faktory řadíme geologickou stavbu (pórovitost hornin), morfologické vlastnosti povodí

a koryt toků (sklonitost povodí, morfologie horských hřbetů), složení a stav půdy (půdní druhy, porovitost a propustnost), rozsah, druh a složení porostů (les, louka, nevyužitá půda), tvar a hustota říční sítě. Antropogenní faktory jsou agrotechnická opatření (úprava povrchu a struktura půdy), pěstování kulturních rostlin, pěstování lesa (zalesňování, změna skladby lesa), stavba dopravních sítí a těžba nerostných surovin. [44]

8 DIGITÁLNÍ MODEL Y TERÉNU

První digitální model y terénu známe již z 50. let. Digitální model y terénu dále jen DMT jsou definovány jako: „*DMT je jednoduše statistická reprezentace spojitého povrchu Země pomocí velkého množství bodů se známými souřadnicemi X , Y , Z v definovaném souřadnicovém prostoru*„ [45]

Jinými slovy je DMT model povrchu Země bez objektů na povrchu v digitální rovině. Jedná se o zjednodušený model určité části Země. V dnešní době se s moderními DMT setkáváme, aniž bychom si to uvědomovali ve formě simulace povodní nebo pomocí GPS v telefonech. [45]

Při vytváření DMT se řídíme následujícími 5 kroky. Prvním krokem je tvorba DMT, při kterém dochází k získávání výškových dat jako je např. pozemní měření, vektorizace, letecké snímkování a následná tvorba výškového modelu. Dále manipulujeme a upravujeme vytvořené DMT. Zde se setkáváme s odstraněním chyb, filtrováním a konverzí mezi datovými typy. V dalším kroku zpracováváme data v GIS. Čtvrtým krokem je vizualizace, která je z DMT odvozená. Poslední částí je aplikace DMT. V tomto kroku je DMT schopno využívat v mnoha programech. [45]

Kvalita výstupu DMT se odvíjí od kvality vstupních dat a podle zvolené interpolační metody.

8.1 Zdroj dat pro DMT

Data pro digitální model y terénu můžeme získat buď přímo, nebo nepřímo. Přímé metody jsou přímá měření např. měření v terénu pomocí geodetických prvků (nívelace, tachymetrie) nebo pomocí Global Navigation Satellite System (GNSS). Nepřímé metody se zabývají již existujícími modely. Pro výběr metody zvažujeme velikost území, požadovaná polohová a výšková přesnost, hustota bodů, čas a cena. V této práci využívám sekundární vstupní data z důvodu charakteru vybraného toku. [45]

8.1.1 Přímé metody

Přímé metody lze rozdělit do několika kategorií. Pozemní měření je jeden z nejpoužívanějších a nejpřesnějších způsobů. Jedná se ale o metodu velmi pracnou

a v dnešní době se ustupuje z tohoto pŕůzkumu Země. Další kategorií je dlkov pŕůzkum Země a laserov skenování. [45]

8.1.1.1 Pozemní mřen

Při mřen jíž pracujeme s učelem pŕce a kritéria tomu upravíme. Patŕ zde geometrick nivelace, kter je zároveň nejpŕesnjš metodou uren výšky. Při nivelaci dochází k odetn výškového rozdílu mezi dvěma body. Ve spojitosti s hydrologií můžeme využít nivelaci pŕ zaměřování pŕčnch a podélných profilů. Mřen je velmi zdlouhav a komplikovan v terénu s velkými výškovými rozdíly. [46]

Tachymetri určujeme výšku i polohu bodu pomocí souřadnic X, Y, Z v definovanm souřadnicovm systému. Princip je změřit dlku a vodorovn/vškov uhel pomocí totaln stanice. Stanice vysílá laserov paprsek pro odečet hodnot. Pŕesnost mřme na 0,02 až 0,05m. [46]

Global Navigation Satellite System (GNSS) je metoda, která slouží k modelování terénu. Základní jednotkou je vzdálenost mezi družicí a GPS pŕijmačem. Systém GPS se skládá ze 3 segmentů: kosmick, řidc a uivatelsk. Kosmick segment tvoŕ 24 družic na 6 oběžných drahch o sklonu 55°. Řidc segment je tvořen 5 pozemními stanicemi. Jednotliv GPS pŕijmače se nachází na segmentu uivatelskm. Existuje 5 zpsob mřen pomocí GPS: kdov mřen, fzov mřen, autonomn (absolutn) metoda, relativn a diferenn metoda. Při kdovm mřen je stanovena vzdálenost na základě součinu doby a rychlosti šíření signálu mezi družicí a anténou. Rychlost šíření je rovna rychlosti světla. Tento druh mřen je vhodn pouze pro navigaci a tvorbu map velkých nebo střednch měřítek. Fzov mřen je pŕesnjš než pŕedchoz mřen. Hod se pro tvorbu podrobných map větších měřítek. Určuje se vzdálenost mezi družicí a GPS aparaturou pomocí vln GPS signálu. Avšak nesmí dojít ani ke krátkodobému pŕerušen signálu, neboť i krtk pŕerušen znamená znemonn uren sprvnho celoiselnho násobku vlnov délky. Autonomní (absolutn) metodu volme tehdy, pokud máme k dispozici pouze jednu aparaturu. Dochází k uren vzdáleností na základě pŕijmače a minimln čtyŕ družic. Výhodou je, že pŕístroj může být jak v klidu, tak v pohybu. Velk využití nachází při navigaci vozidel, cyklist či turist. Relativn metoda patŕ mezi nejpŕesnjš způsoby uren polohy. Nutnost dostupnosti dvou aparatur GPS. První se nazývá referenční stanice. Stanice se umřuje na bod se známou polohou a druhou je vlastn pŕijmač, kter zaujímá neznámou polohu.

Výhodou je možnost opravit korekce přímo z referenční stanice. Diferenční metody bývají označovány jako DGPS. Tato metoda funguje podobně jako relativní metoda, kde je také možno opravit korekce. Rozšířenou metodou určenou ke sběru dat je fotogrammetrie. Využití dvou fotografií pořízené ze dvou míst a následná rekonstrukce jednoho objektu. Měřičské komory je nacházejí v závěsu na palubě letadla. Metoda minimalizuje optické vady. [47]

8.1.1.2 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země pracuje se získáváním dat na dálku pomocí několika intervalů vlnových délek. Měření bývá prováděno z letadla nebo pomocí družic. Mezi dálkové průzkumy Země patří fotogrammetrie, radarové snímkování a laserové skenování.

Fotogrammetrie se zabývá úlohou rekonstrukce objektů, stanovení jejich polohy a velikosti z fotografických snímků. K analýze je potřeba dvou snímků, které se z 60 – 80 % překrývají. Radarové snímkování jinak také aktivní metoda mikrovlnovou částí spektra, je metoda, která spočívá ve vysílání krátkého a intenzivního mikrovlnného signálu určitým směrem. Navracený signál, odrazený od objektu, je zaznamenán. Radary mohou být umístěny na povrchu, letadlech i družicích. Laserové skenování se řadí mezi moderní metody. K měření se používají tzv. LiDARy, které měří vzdálenost pomocí laserového paprsku. LiDARy slouží k měření rychlosti a mapování povrchu. Poloha objektu je určena na základě polohy letadla v daném okamžiku, směru vysílání paprsku a vzdálenosti, která byla zjištěna na základě času vráceného signálu. [45]

8.1.2 Nepřímé metody

Odvozování dat z existujících zdrojů. Nejčastěji je to kartografická digitalizace vrstevnicového plánu. Plán bývá zakreslen na analogové mapě. [45]

8.2 Práce s výškovými daty

V České republice pracujeme nejčastěji s vrstevnicemi nebo s výškovými body. Český úřad zeměměřičský a katastrální (ČÚZK) poskytuje data pomocí ZABAGED (Základní báze geografických dat).

8.2.1 ZABAGED

ZABAGED řadíme mezi základní báze geografických dat prozem Āesk republiky. ZABAGED, rozumíme tm digitální geografick topografick modelzem. Databázi řadíme pod správu Āeskhořadu zemmřckho a katastrálního a je součástí zákona Ā. 200/1994 Sb., o zemmřckstv a o změně a doplnn některých zákonů souvisejících s jeho zavedenm. Může dojít ke srovnání se Základní mapou Āesk republiky v měřítku 1:10 000 až 1 : 100 000. Data jsou získávána pomocí dlkovho pŕzkumu Země a poté jsou geometricky zpŕesňovny. ZABAGED obsahuje 122 typů geografických objektů v geodetick nebo vřkopisn Āsti. Polohopisn Āst obsahuje informace ve 2D o sídlech, komunikch, rozvodnch sítích, vodstvu,územních jednotkách, vegetaci a chrnnchzem. Obsah je zobrazován pomocí databáze s vektorovm polohopisem. Tento model obsahuje informace ohledně komuniké, sídlech, vegetaci atd. Digitální vřkopis obsahuje intervaly vrstevnic ve 2, 4, 6, 8 a 10m. Pokud dojde k pŕetren vrstevnice, jedná se o msto s vskytm strže nebo zářezu. [49]

9 METODIKA PRÁCE

V následující kapitole jsou popsány přípravné práce, verifikace údajů v terénu, popis zájmových lokalit a využití přístroje.

9.1 Přípravné práce

Zájmový úsek vodního toku (8 – 0 říční kilometr řeky Odry) popisován v předchozích kapitolách 3 a 4 byl vybrán z důvodu rozmanitosti území. Byl vybrán úsek toku v historické části města Bohumín, přírodní památka Hraniční meandry Odry a poslední lokalitou je soutok řek Odry a Olše. Byl vybrán stejný úsek vodního toku jako v mé bakalářské práci, ve které jsem se seznámila s danou lokalitou a s historickým vývojem řeky Odry v zájmovém úseku.

V diplomové práci mi vstupní data mi poskytnul Zeměměřičský úřad se sídlem v Praze a projekt DIBAVOD (ZABAVOD). V diplomové práci využívám data sekundární vzhledem k velikosti zájmového území a charakteru vodního toku. Vstupními daty byl digitální model terénu 4. generace (DMT) a datové vrstvy. Pro objednání DMT je třeba vybrat úseky topografické mapy, která se skládá z mnoha čtverců o velikosti 2x2 km. Pro diplomovou práci bylo nutno objednat DMT skládající se ze 4 čtverců. DMT 4. reliéfu představuje pravidelnou síť bodů rozprostřených v prostoru na vzdálenost 5x5 m.

Ve své diplomové práci jsem využívala pre-processingu dat v aplikaci Arc-Map verze 10.4 programu GIS s extencí HEC-GeoRAS verze 10.2 a následně program HEC-RAS verze 5.0.3. Program GIS vykresluje realitu různých map, v této diplomové práci se jedná o kombinaci map topografických, hydrologických a katastrálních. Pomocí prostředí geografického informačního systému GIS je studována oblast povodí, v které jsou demonstrovány vodní toky, svahy, délky atd. Tato data jsou využita pro vstup do programu HEC-RAS. Pro modelování byl vybrán model HEC-RAS z důvodu lehčí manipulace uživatele a možnosti bezplatného stažení. Post-processing probíhal na bázi WMS prohlížecké služby.

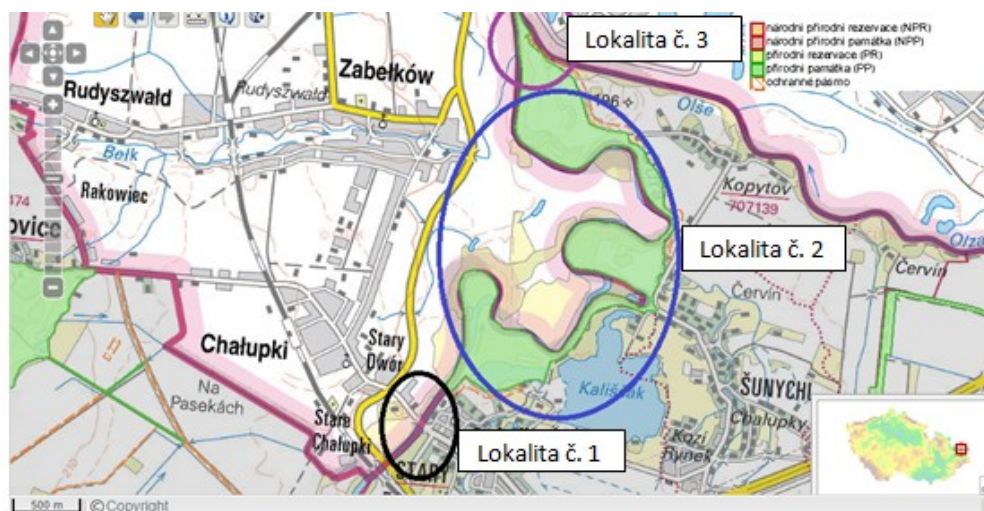
9.2 Verifikace podkladů v terénu

Co se týče využití sekundárních podkladů, bylo nutné podklady verifikovat. Vzhledem k rozmanitosti a nepřístupnosti území byly provedeny pouze kontrolní terénní práce za pomoci GPS navigace Garmin eTrex Vista HCx, které potvrdily správnost vstupních dat.

Dalším úkolem v terénu byl správný výběr příčných profilů, které jsou nutností vstupních dat pro program HEC-RAS. Příčné profily byly vybrány pozorováním. Celkem bylo vybráno 75 příčných profilů v zájmovém úseku řeky. Příčné profily je nutné vybírat tak, aby došlo k zachycení stěžejního identifikačního rysu daného úseku vodního toku. Ačkoliv by příčné profily měly být vybírány v přímé části vodního toku, v našem zájmovém území především v části meandrů nebylo možné toto pravidlo dodržet.

9.3 Popis modelovaných lokalit

Pro lehčí orientaci jsem území rozdělila do tří lokalit (Obrázek 10). První lokalita zahrnuje řeku Odru v historické části města Bohumín (GPS: 49.9211872N, 18.3278008E). V druhé části řeka Odra protéká přírodní památkou Hraniční meandry Odry (GPS: 49.9336194N, 18.3407611E). Třetí lokalitou je soutok řek Odry a Olše (GPS: 49.9492519N, 18.3330364E).



Obrázek 10 Zaznačené lokality, (zdroj: [50], upravila: Raszková)

9.3.1 Lokalita č. 1 (8 - 7 říční kilometr)

Lokalitou č. 1 je historická část města Bohumín a to od železničního mostu (GPS: 49.9165017N, 18.3223044E), který tvoří hraniční přechod Bohumín / Chalupki do prvního

meandru Přírodní památky Hraniční meandry Odry (GPS: 49.9268078N, 18.3311022E). V místě nynějšího železničního mostu byl kdysi postaven dřevěný železniční most a to dne 3. září v roce 1849. Připomínkou staré konstrukce nám dnes jsou pouze kůly (Obrázek 11), které vystupují nad povrch vodní hladiny (vyznačeno červenou šipkou). [51]



Obrázek 11 Železniční most Starý Bohumín, (zdroj: Kateřina Raszková)

V okolí železničního mostu je provedena vodohospodářská úprava. Jedná se o typ zpevňování koryta pomocí drátokamenné matrace (Obrázek 12). Tento typ nachází stále větší uplatnění. Používá se jako ochrana objektů nebo jako stavební prvek některých konstrukcí. Opevnění se vyplňuje říčními valouny, lomovým kamenem nebo betonovými úlomky. [52]

V bezprostřední blízkosti se na Polské straně koryta řeky se nachází zámek Chalupki (Obrázek 12). Dále po proudu řeky nalezneme vodočet (Obrázek 12). V našem případě se jedná o vodočet kolmý.



Obrázek 12 Drátokamenná matrace, zámek Chalupki, Vodočet, (zdroj: Kateřina Raszková)

Na české straně řeky stojí hlasná vodoměrná (limnigrafická) stanice. Vodoměrná stanice slouží k získání informací o režimu vodních stavů a průtoků na tocích. Podrobné informace o stanici v Bohumíně jsou shrnuty v následující tabulce (Tabulka 13). [53]

Tabulka 13: Parametry vodoměrné stanice Bohumín, (zdroj: [54], upravila: Raszková)

Stanice	Bohumín
Vodní tok	Odra
Kategorie	A
Říční kilometr	3,32 m n. m.
Plocha povodí	4663,77 km ²
Nula vodočtu	193,79 m n. m.
Provozovatel	ČHMÚ Ostrava

9.3.2 Lokalita č. 2 (7 – 1 říční kilometr)

Lokalitou číslo 2 jsou Hraniční meandry Odry (Obrázek 13). Bohumínské meandry dosahují délky 6 říčních kilometrů (GPS_{první meandr}: 49.9268078N, 18.3311022E, GPS_{pátý meandr}: 49.9397675N, 18.3461006E). Meandry jsou dobrým příkladem přirozeného vývoje koryta řeky. Hlavní změny meandrů způsobují povodně, které mění příčný a podélný profil řeky. Na území druhé lokality se objevují stará říční ramena a také se zde vlévá Bohumínská Stružka, která je pravým přítokem řeky Odry. Meandry jsou nalezištěm fosilií z mamuta. [2]



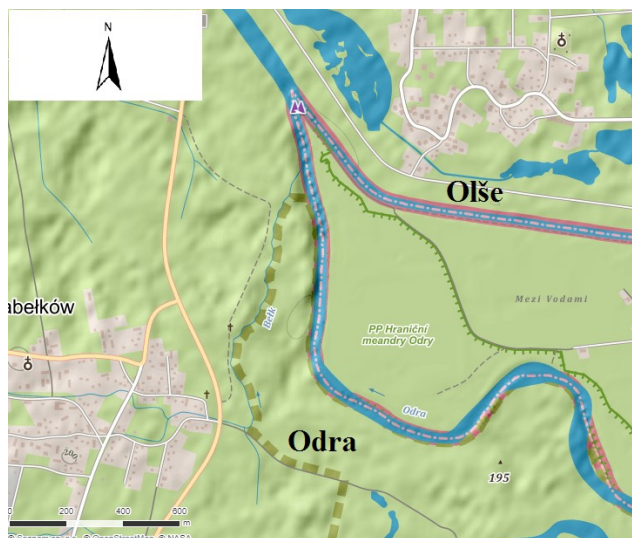
Obrázek 13 Mapa hraničních meandrů Odry, (zdroj: [48], upravila: Raszková)

Dochovaly se zde také ocelové štetové stěny (GPS: 49.9347406N, 18.3513361E), které jsou důkazem experimentu s lodní dopravou. V dnešní době štěty tvoří funkci protierozní. Experiment byl ukončen při prvních povodních, kdy řeka Odra ukázala svou různorodost. U posledního meandru se nachází velký šterkový nános.

V bezprostřední blízkosti lokality č. 2 se nachází dvě vodní plochy (šterkovny) Velký a Malý Kališok (GPS: 49.9246294N, 18.3467014E).

9.3.3 Lokalita č. 3 (1 – 0 říční kilometr)

Soutok Odry a Olše (GPS: 49.9492519N, 18.3330364E) zaujímá lokalita číslo 3 (Obrázek 14). Soutok leží v nadmořské výšce 195 m n. m. a jedná se o nejnižší místo Slezska. V historii se zde nacházel trojmezí bod Československo-německý-polský.



Obrázek 14 Soutok Odry a Olše, (zdroj: [48], upravila: Raszková)

9.4 Využité přístroje: GPS navigace Garmin eTrex Vista HCx

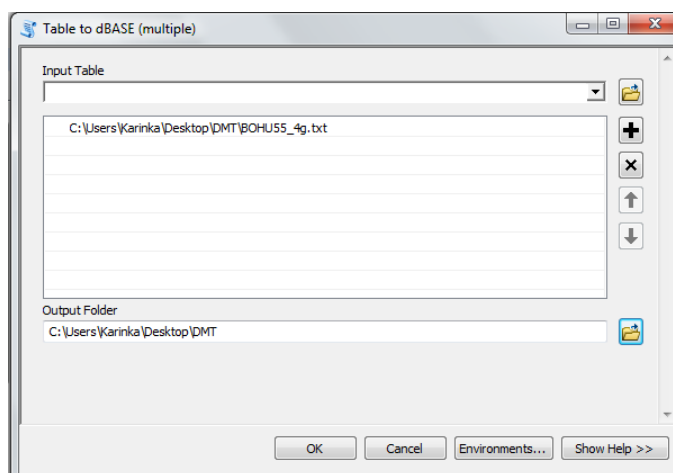
Jedná se o odolnou navigaci s náměrovým kompasem. Navigace obsahuje turistickou mapu České republiky v měřítku 1 : 25 000 (Topo Chzech). Mapu je možné zobrazit buď na monitoru navigace, nebo v počítači. Navigace měří s přesností na 3 m. Základní mapa obsahuje vestavěnou základní mapu světa (detail Evropy). Mapa obsahuje silnice, ulice, turistické trasy, cyklotrasy, polní cesty či lesní cesty. Dále mapa zahrnuje vrstevnice a výškové koty, které upřesňují členitost terénu.

10 MODELOVÁNÍ HYDRODYNAMICKÉHO MODELU

Při modelování povrchového odtoku a rozlivů bylo využito předešlých popsaných programů. V následujících podkapitolách je stručně popsána metodika práce.

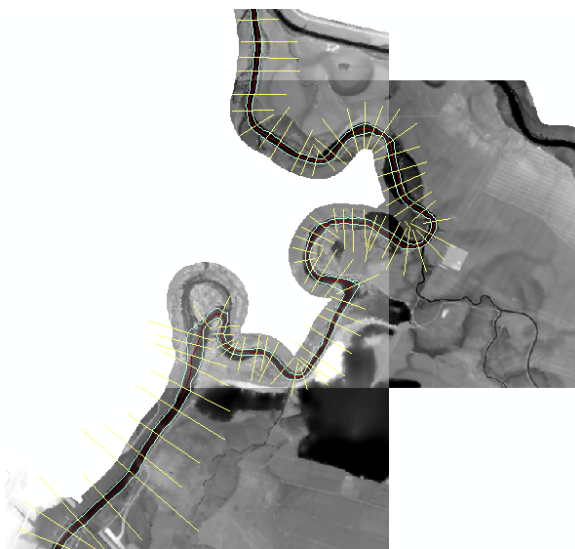
10.1 Preprocessing dat Arc-Map + extence HEC-GeoRAS

V prvním kroku je nutná úprava vstupních dat pro modelování. Má vstupní data s označením BOHU_554g.xyz bylo nutné převést na soubor s koncovkou *.txt, který je následně vložen do programu Arc-Map, pomocí tlačítka **Geoprocessing -> ArcToolbox -> Conversion Tools -> To dBase -> Table to dBase**. Následuje vyzvání k doplnění tabulky dle obrázku (Obrázek 15).



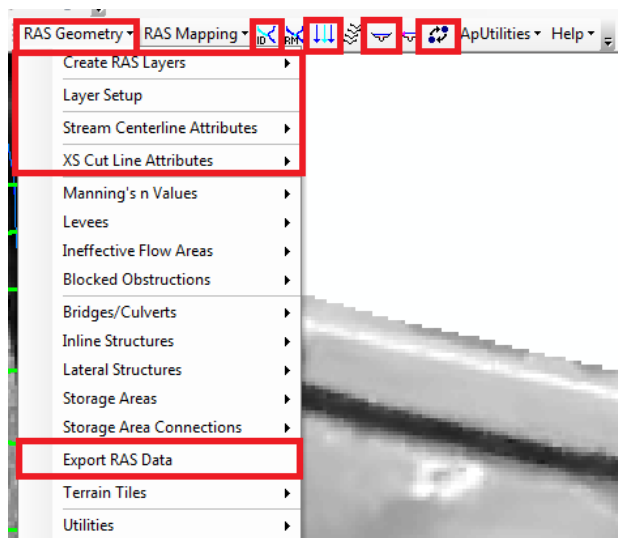
Obrázek 15 Ukázka vyplněné tabulky při vložení vstupních souborů, (zdroj: Raszková)

Díky této úpravě dosáhneme vytvoření souboru s koncovkou *.dbf, díky které je možné vkládat vstupní data pomocí **File -> Add data -> Add XY Data**. V tabulce je nutné propojit cestu mezi sloupci ve vstupním souboru a zadat jim určitou souřadnici X,Y nebo Z. FIELD 1 odpovídá souřadnici X, FIELD 2 souřadnici Y a FIELD 3 souřadnici Z. Po potvrzení volby **OK** přicházíme ke kroku, který určuje podle kterých vstupních dat, se má digitální model terénu vykreslit. **ArcToolbox -> Conversion Tools -> To Raster -> Point to Raster**, vložíme soubor s daty, v kolonce **Valued field** určíme souřadnice ve sloupci Z, podle kterých jsou následně získávány nadmořské výšky. **Cellsize** bylo určeno na hodnotu 5. Díky těmto krokům docílíme vykreslení DMT (Obrázek 16) důležitého pro následující kroky.



Obrázek 16 Ukázka DMT 4G, (zdroj: Raszková)

Jeden z prvních důležitých kroků při modelování povrchového odtoku je určení souřadnicového systému pro projekt. Důležité je přiřadit systém nejen projektu celkově, ale i každé skupině vrstev, kterou vytvoříme. V našem případě se jedná o S-JTSK_Krovak_East_North: **ArcToolbox -> Data Management Tools -> Projections and Transformations -> Raster -> Project -> Output Coordinate systém -> Projected coordinate systém -> National Grids -> Europe -> S-JTSK_Krovak_East_North.** Vrstvě přiřadíme souřadnicový systém následovně: **Layers -> Properties -> Projections and Transformations -> Raster -> Project -> Output Coordinate systém -> Projected coordinate systém -> National Grids -> Europe -> S-JTSK_Krovak_East_North.** Následuje práce s extencí HEC-GeoRAS (Obrázek 17).



Obrázek 17 Ukázka ovládacího panelu HEC-GeoRAS, (zdroj: Raszková)

Pro další práci s DMT 4G je nutné vytvořit TIN: **ArcToolbox -> 3D Analyst Tools -> Data Management -> TIN -> Create TIN.**

Jako první vytvoříme vrstvu vodního toku (tvorba říční sítě): **RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Stream Centerline.** Tato vrstva je povinná a je důležité zachovat směr vytváření linie (směr po toku řeky). Po skončení editace bylo nutné přiřadit linii název a úsek toku pomocí **Assign River Code and Reach Code to River.** V tomto kroku je důležitá pozornost, neboť vodnímu toku/úseku zadáváme ID (River reach ID). Je nutné, aby byla dodržena kombinace jména toku a části toku (nesmí se opakovat vícekrát). Pokud nedodržíme tento postup, dojde k chybě, která neumožní propočet záplavového území. Nevýhodou je neupozornění na tuto chybu při exportu dat. Geometrie vodního toku Odry v Bohumíně byla převzata z databáze DIBAVOD objektu A1 – vodní tok (tokový model). Zadané údaje je možné si kontrolovat v atributové tabulce: **River** (námi vytvořená vrstva) - **> Open Attribute Table** (Obrázek 18).

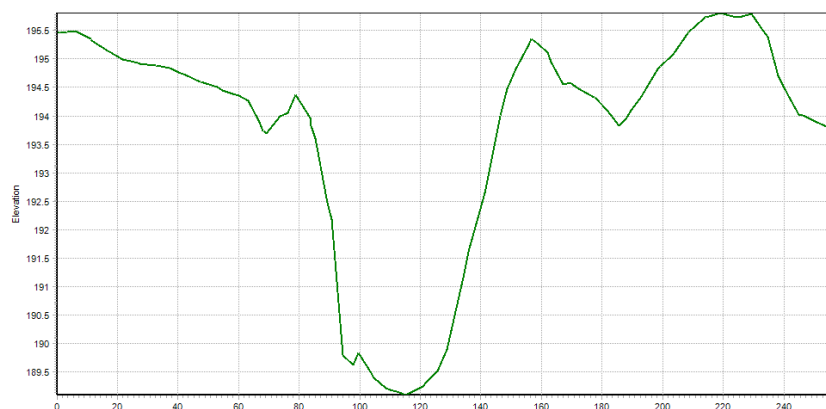
Table									
River									
	Shape *	OID *	Shape Length	HydroID	River	Reach	FromNode	ToNode	ArcLength
▶	Polyline	1	8133.191813	1	Odra	Odra	1	2	8133.192

Obrázek 18 Atributová tabulka vodního toku River, (zdroj: Raszková)

Druhou vrstvou jsou břehové linie: **RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Bank Lines.** Tato vrstva je nepovinná, lze ji dotvořit přímo v programu HEC-RAS, avšak mnou

byla vytvořena již v ArcMap. Slouží k určení stacionárních bodů pravého a levého břehu na příčných profilech toku. Břehové linie byly vytvořeny pomocí databáze DIBAVOD objektu A16 – břehové linie a upraveny podle aktuální ortofotomapy. Vrstva břehových linií nemusí být reprezentována nepřerušenou čarou.

Dále je nutné nadefinovat příčné profily (Obrázek 19). Jedná se o povinnou vrstvu, která souvisí se směrem toku řeky, proto je nutné dodržet některá pravidla. Je to klíčová informace pro simulaci. Vrstvu vytvoříme následovně: **RAS Geometry -> Create RAS Layers -> XS Cut Lines**. Po vytvoření vrstvy je nutné zapnout editační program a zakreslit příčné profily do mapy. Příčné profily musí být tvořeny z levého břehu na břeh pravý. Rozestupy byly voleny tak, aby byly vystihnuty změny proudění toku. Příčné profily by měly být kolmé na vodní tok.

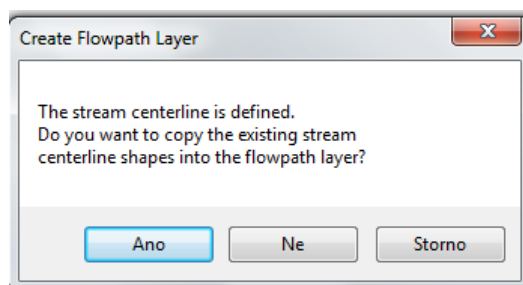


Obrázek 19 Ukázka vykreslení příčného profilu pomocí extence HEC-GeoRAS, (zdroj: Raszková)

Pokud chceme zvolit jednodušší možnost, zapneme nástroj **Construct SX CUT Line** a nabídne se nám automatické vykreslení příčných profilů v určitém intervalu. Vytvořená tabulka vyzve k zadání vrstvy námi vytvořeného toku (Stream Centerline). Dále jen určíme interval mezi příčnými profily. V diplomové práci byl použit první způsob užití. Jedná se o meandrující tok velké rozmanitosti, proto jsem využila možnosti zakreslit si příčné profily sama a zvolit si je v místě, kde dochází ke změnám ve tvaru koryta. V diplomové práci bylo zakresleno 75 příčných profilů.

Pokud máme úspěšně nadefinovanou vrstvu břehových linií dalším krokem je vytvoření osy proudění. V nabídce HEC-GeoRASu vybereme **RAS Geometry -> Create RAS Layers -> Flow Path Centerline**. Pokud je vrstva vodního toku **River** dobře editována následuje možnost kopírování této vrstvy, dále je nutné zakreslit pouze pravý a levý břeh

vodního toku (Obrázek 20). Tyto údaje napomáhají k výpočtu vzdálenosti vodního toku od břehů. Při vytváření vrstvy je nutné dodržet dotyk všech příčných profilů s těmito liniemi. Pomocí tlačítka **Select Flowpath and Assign Line Attributes** označíme linie jako pravou, středovou (koryto řeky) nebo levou.



Obrázek 20 Ukázka komunikace HEC-RASu a uživatele, (zdroj: Raszková)

Následuje nastavení digitálního modelu terénu: **RAS Geometry -> Layer Setup**. V tomto kroku je možné ověřit správnost přiřazení daných vrstev, které byly vytvořeny v předešlých krocích. Dalším krokem je doplnění prázdných políček v atributových tabulkách vrstev. Prvně došlo k doplnění tabulky u toku řeky: **RAS Geometry -> Stream Centerline Attributes -> Topology/ Lengths/ Stations/ Elevations**. Pomocí Topology se objeví získané údaje v atributové tabulce ve sloupcích FromNode a ToNode. Pomocí Length/Stations určíme vzdálenost přítoků. Vzdálenost je vypočítávána proti proudu toku. V atributové tabulce tyto údaje nalezneme ve sloupcích FromSta a ToSta.

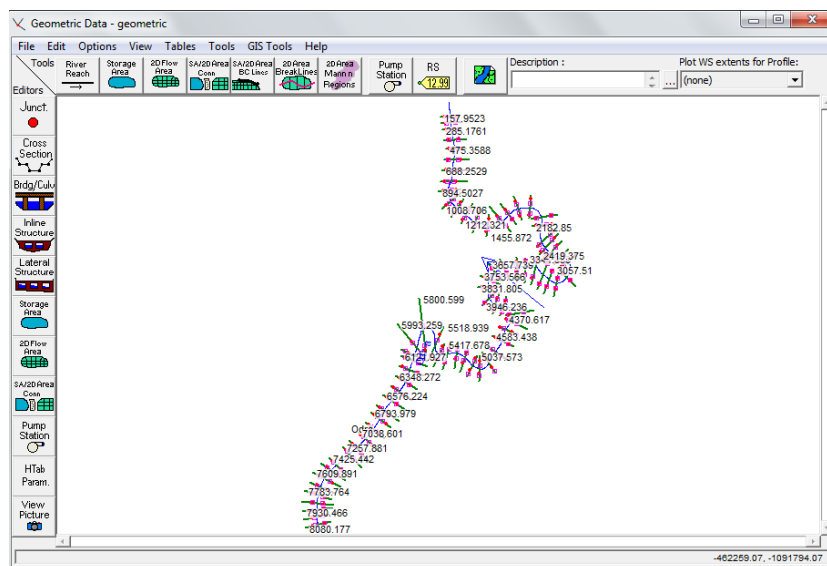
Obdobně byla tabulka vyplněna i u příčných profilů: **RAS Geometry -> XS Cut Line Attributes -> River/Reach names/ Stationing/ Bank Stations/ Downstream Reach Lengths/ Elevations**. Těmito kroky vytvoříme 3D vrstvy vodního toku a příčných profilů. V následujícím kroku exportujeme data do programu HEC-RAS: **RAS Geometry -> Export RAS Data**. Vznikne exportní soubor s koncovkou *.sdf.

10.2 Modelování v prostředí HEC-RAS

Tvorba modelu v HEC-RASu se skládá z geometrických dat, ustáleného proudění a plánu simulace. V programu dojde k propočtu průtokové vlny a k přípravě vrstev pro tento proces.

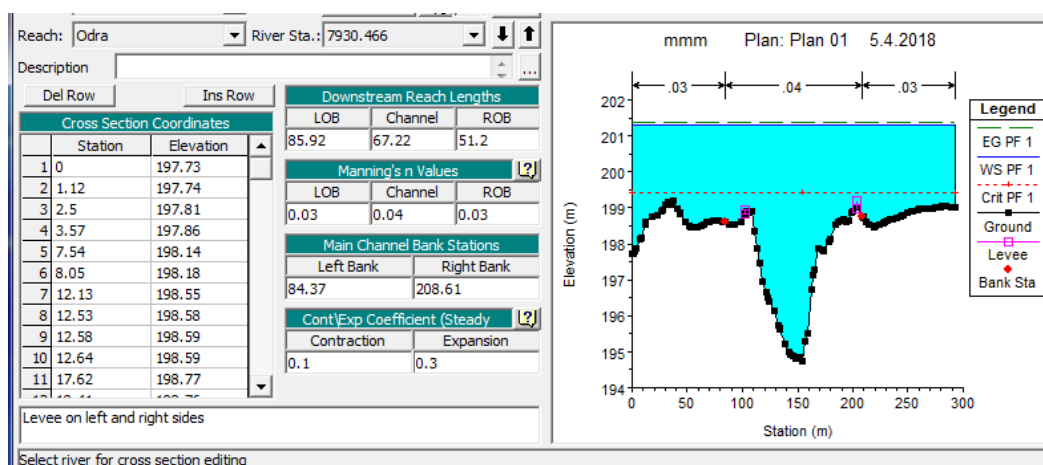
Kliknutím tlačítka **File -> New Project** vytvoříme nový projekt. Následuje volba měrného systému, v mém případě metrická soustava SI.

Načtením geometrických dat dojde k importu souboru s koncovkou *.sdf: **Edit -> Enter geometric data -> File -> Import Geometry Data -> GIS Format**. Po importu se objeví geometrická data (vodní tok, břehové linie a příčné profily) v následující podobě (Obrázek 21).



Obrázek 21 Geometrická data programu HEC-RAS, (zdroj: Raszková)

Jednotlivé příčné profily lze rozkliknout a seznámit se s jejich geometrií. Po seznámení se s geometrií příčných profilů bylo nutné u všech příčných profilů přistoupit k nastavení hrází. Profily zachycovaly buď slepá ramena, nebo výrazné sníženiny terénu. Významem hrází je, aby při modelování průtoků nedocházelo k vyplnění vodní masou právě těchto depresí dříve, než bude zcela naplněno koryto řeky. **HEC-RAS -> Geometric data -> Cross section -> Options -> Levees** (Obrázek 22).



Obrázek 22 Příčné profily promítнутé v programu HEC-RAS, (zdroj: Raszková)

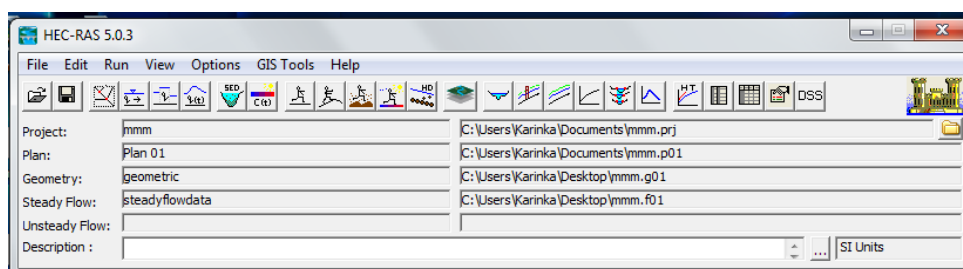
Nakonec je nutné nastavit Manningův koeficient drsnosti: **Tables -> Mannings on k values**. Koeficientem urm sprvn hodnoty parametrů, kter ovlivňují proudění v korytě. Pro vodní tok byl koeficient stanoven na hodnotu 0,040. Kter spadá do kategorie C dle tabulky 3-1 *Mannings on values – Type of Channel and Description*. Část A – *Natural Streams* se slovním popisem „stt vodní tok, obsahující i klidn města, meandrující,“. Dále bylo nutné nastavit koeficient i pro inundan uzem dle následující tabulky (Tabulka 14):

Tabulka 14 Manningův koeficient pro inundan uzem, (zdroj: HEC-RAS Help, upravila: Raszková)

Travn porost	0,030
Vrby	0,150
Stromy	0,060

Pro simulaci ustáleného proudění bylo nutné zadat okrajov podmínky. Důležitým ukazatelem je výše průtoků v m³. **Edit -> Steady flow data-> Qx -> Reach Flow Boundary Conditions -> Critical Deph**. Čímž určujeme HEC-RASu dpoet kritick hloubky vodní hladiny pro pn profily. Dále bylo nutné doplnit tabulku v geometrii dat *Cont/Exp Coefficient*. Koeficient dosahuje hodnoty u *Contraction* 0,1 a u *Expansion* 0,3. Hodnoty byly odeten z tabulky *Table 3-2: Ewuivalent Roughness Values of Various Bed Materials*, kde jsem vybrala dno přirozenho vodního toku (*Natural River Bed*) s hodnotou 0,1 – 0,3.

Po vyplnn vsch potebnch udaj projekt HEC-RASu před exportem dat zpt do Arc-Map vypad nsledovn (Obrázek 23):



Obrázek 23 Pracovní psted HEC-RAS před importem dat, (zdroj: Raszková)

Pro vytvoen exportnho souboru je nutn kliknout na volbu **File -> Export GIS Data**. V tabulce nesmme opomenout zaškrtnout monosti *Water Surfaces*, *Water Surfaces Extent*, *Velocity*, *Reach lenghts*, *Bank stations (improves velocity, ice, shear and power mapping)*, *Levees*, *Ineffective Areas*, *Blocked Obstructions* a *Mannings -> Export Data*.

V programu HEC-RAS lze již dosáhnout určitých výsledků, např. dle simulace odečteme výšku hladiny a můžeme promítnout prostorovou vizualizaci simulace (Obrázek 24).

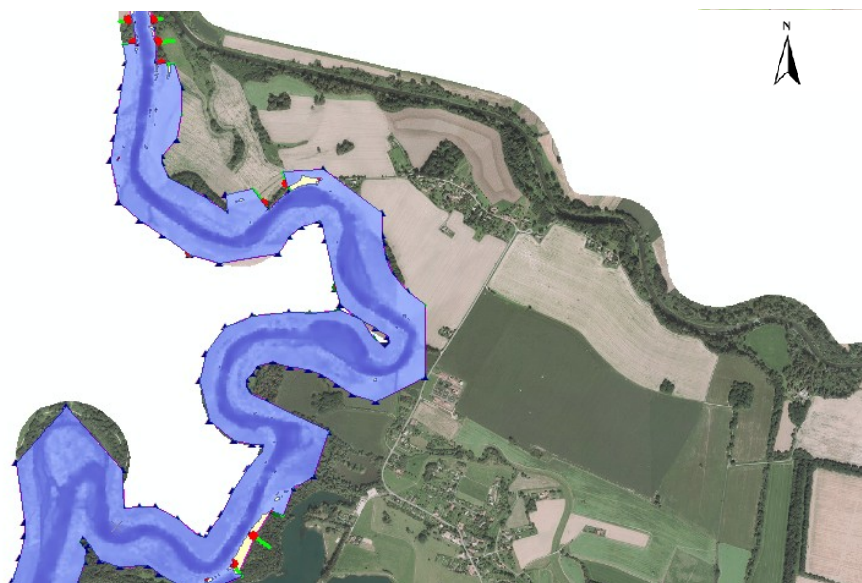


Obrázek 24 Prostorová vizualizace, (zdroj: Raszková)

10.3 Post-processing Arc-Map

Exportní *.sdf soubor importujeme do ArcMap pomocí tlačítka **Import RAS ADF File**, které najdeme v panelu extence HEC-GeoRAS. V tuto chvíli musíme soubor uložit. Dále je nutné provést nastavení **RasMapping -> Layer Setup. New analysis ->** pracovní název souboru, **RAS GIS Export file ->** stejný soubor, který byl vložen v předchozím kroku, **Terrain -> Single -> TIN ->** vložíme námi vytvořený TIN, **Output Directory ->** uložené místo pro export -> **OK**. Nové vytvořené vrstvě přiřadíme souřadnicový systém. **Post48 -> Properties -> Projected Coordinate System -> National Grids -> Europe -> S-JTSK Krovak EastNorth**. Nyní přejdeme k importu **RAS Mapping -> Import RAS Data**. Dále vytvoříme záplavová území **RAS Mapping -> Innundation Mapping -> Water Surface Elevation -> Floodplain Delineation Usineg Rasters**. Oblast se vykreslí pomocí **RAS Mapping -> Velocity Mapping**.

Pro vložení nové WMS vrstvy postupujeme **ArcCatalog -> GIS Serves -> Add WMS Server -> URL: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx -> Get Layers -> Prohlížeční služba WMS – Ortofoto on geoportal.cuzk.cz -> Prohlížeční služba WMS – Ortofoto -> Ortofoto** (Obrázek 25).



Obrázek 25 Propojení rozlivu Q20 a WMS služby, (zdroj: Raszková)

11 VÝSLEDKY

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vymezení hranic záplavového území. V následující kapitole jsou podrobně popsány výsledky modelování průtoků $Q_{M-denní}$, Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Simulace ukázala jaké pozemky či objekty jsou v daných průtocích ohroženy. Dle výše uvedené metodiky byly zjištěny tyto parametry: plocha rozlivu, výška vodní hladiny a hloubka.

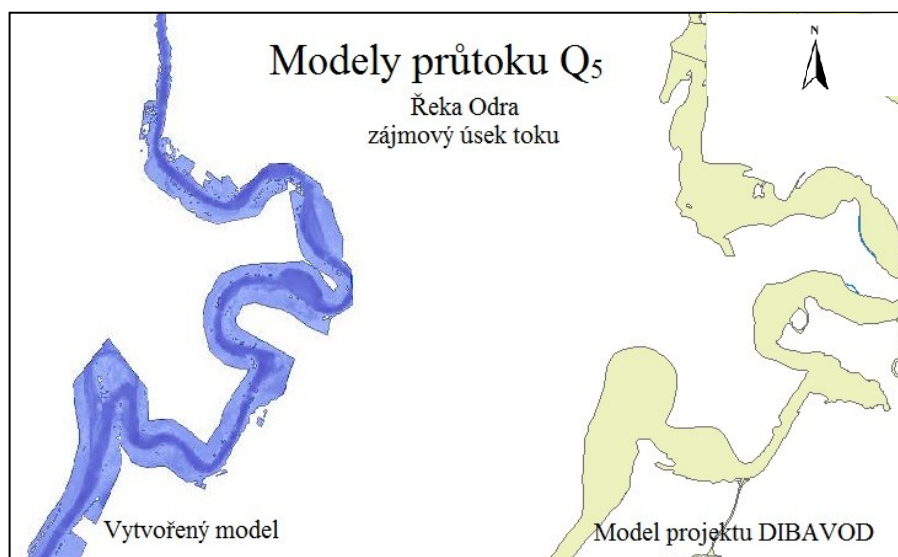
11.1 Plocha rozlivu

Dle popsané metodiky bylo vytyčeno záplavové území. Simulovaný rozliv byl stanoven pro Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Jednotlivé rozlivy s průtoky jsou vypsány v následující tabulce (Tabulka 15).

Tabulka 15 Průtoky jednotlivých rozlivů, (zdroj: [9], upravila: Raszková)

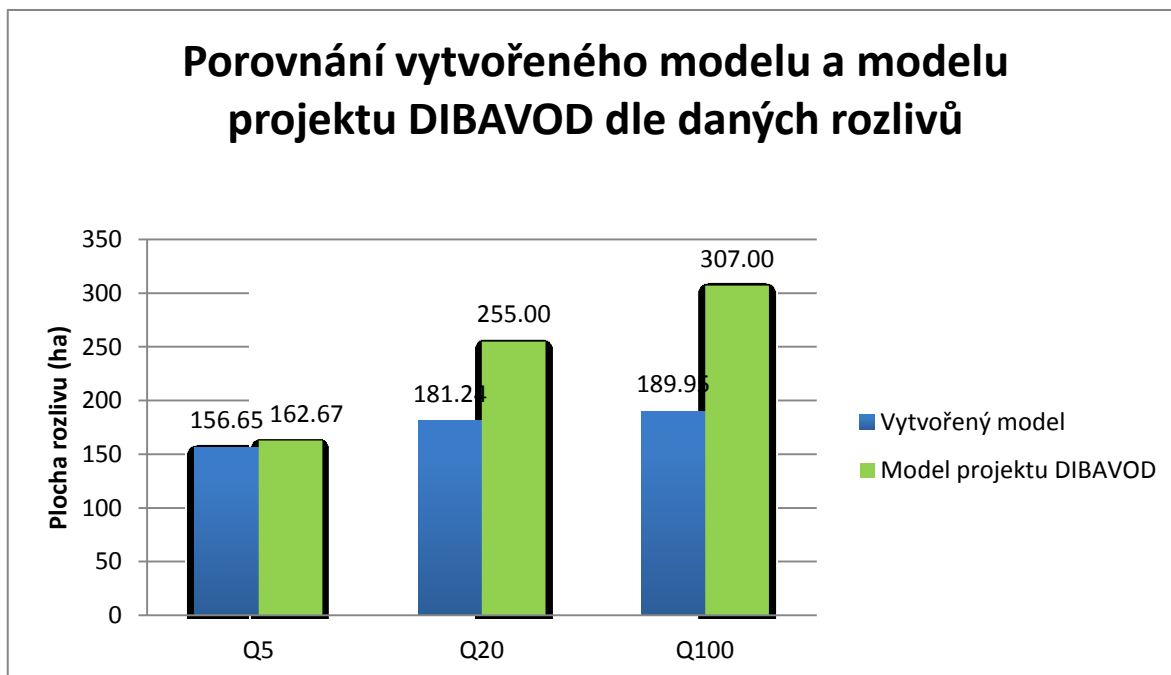
Rozliv	Průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)
$Q_{M-denní}$	48,1
Q_5	736
Q_{20}	1180
Q_{100}	1805

Dále byly shrnuty a srovnány plochy rozlivů nejen mezi určitými průtoky, ale také s projektem DIBAVOD v zájmovém úseku řeky Odry (Obrázek 26), (příloha č. 1-2).



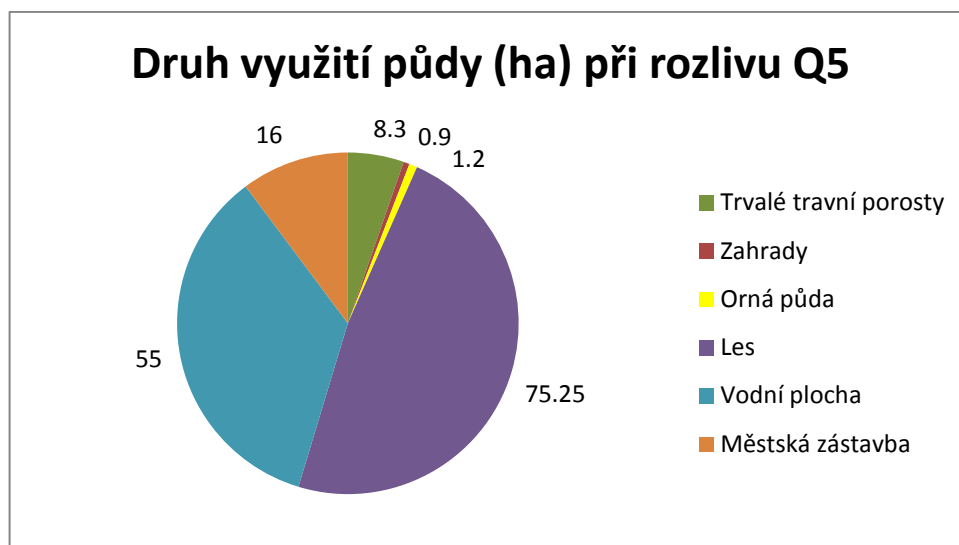
Obrázek 26 Porovnání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD pro průtok Q_5 , (zdroj: Raszková)

Z grafu (Obrázek 27) lze vyčíst, že plochy rozlivu mají ve všech případech rostoucí tendenci. Údaje získané z projektu DIBAVOD mají větší přírůstek hodnot. Výsledek modelu z projektu DIBAVOD, jak upozorňují na webových stránkách, je pouze orientační. Oproti tomu vytvořený model dosahuje nižších hodnot z důvodu nedostatku dat na území Polska (model nevytváří rozliv v tomto území).



Obrázek 27 Porovnání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD dle daných rozlivů, (zdroj: Raszková)

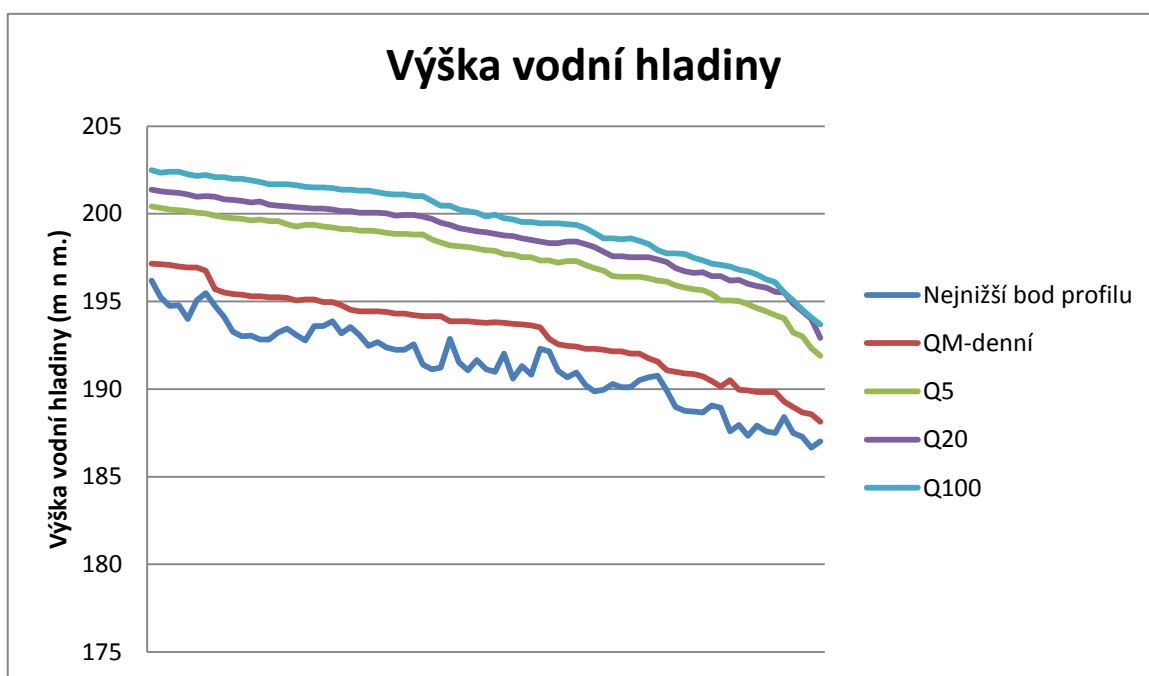
Rozčlenění zaplavené plochy z hlediska využití půdy při průtoku Q_5 je popsáno v následujícím grafu (Obrázek 28), grafy využití půdy při průtoku Q_{20} a Q_{100} naleznete v přílohách 3 a 4. Hlavní pořadí se v určitých průtocích nemění. Největší část zde zastupují lesy (75 až 101 ha), vodní plochy (55 ha) a městská zástavba (16 až 20 ha). Nejnižší podíl zaujímají trvalé travní porosty (83 až 9,3 ha), orná půda (1,2 až 2,7 ha) a zahrady (0,9 až 1,3 ha).



Obrázek 28 Druh využití půdy (ha) při rozlivu Q5, (zdroj: Raszková)

11.2 Výška vodní hladiny

Dle následujícího grafu (Obrázek 29) je patrné, že křivky mají klesající tendenci. Při zvýšení průtoků na Q_5 vodní hladina prudce vzroste. Ve srovnání při vzrůstu intervalu mezi Q_5 a Q_{20} , nebo Q_{20} a Q_{100} , je interval vzrůstu pozvolnější. Důkazem toho jsou údaje, dle kterých je sestaven graf, viz. příloha č.5.



Obrázek 29 Výška vodní hladiny

Při zvýšení průtoku z $Q_{M-denní}$ na Q_5 se výška hladiny zvedne o 3 m. Další intervaly stoupání se pohybují kolem hodnoty 1 m.

V porovnání s výškou hladiny dle evidenčního listu hlásného profilu Odra -Bohumín při Q_{100} a námi vypočtenou výškou hladiny je odchylka přibližně 8 cm.

12 DISKUZE

Výsledkem této diplomov práce jsou plochy zplavovch uzem vytvořeného modelu pomocí programu HEC-RAS, které byly nsledn porovnány s plochami zplavovch uzem veřejn pŕístupnho hydrodynamického modelu projektu DIBAVOD. Výsledky diplomov práce ukázaly, ře mezi výstupy obou hydrodynamickch modelů je rozdíl. Rozdíl byl potvrzen ve vstech srovnvacch kritériích. Hydrodynamick modelování je z nejvtř míry ovlivněno vstupními daty. Data pro diplomovou práci poskytnul Zemmřck uřd se sídlem v Praze. Tato vstupní data nesou míru nejistoty v pŕesnosti aplnosti. Vzhledem k zjmovmu useku řeky Odry, která tvoŕ hranici s Polskem, byla data v nkterch mstech nepln a muselo dojít k jejich manuálnímu nahrazen. Pŕi terénním pozorováním byly vybrány pŕchn profily (celkem 75 pŕchnch profilů) zjmovho useku řeky. Výběr byl konstruován tak, aby dořlo kpln identifikaci daného useku toku. Pŕchn profily by měly být vybírány v pŕm části vodního toku, avřak v uzem pŕrodn památky Hraniční meandry Odry toto pravidlo nemohlo být akceptováno. Dle studovnch materiálů je nejlepřm vstupním materiálem laserov skenování. Nachází se zde výhody a pŕesnosti v parametrizaci topografie koryta řeky a inundačního uzem. Problémem je cenov náročnost těchto dat. V současnosti probíhá skenování celé České republiky Āeskm uřdem zemmřckm a katastrálním v rámci tvorby digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). Pro ucely této práce bylo využito digitálního modelu reliéfu 4. generace, jedná se o pravidelnou síť 5x5 m a pŕesností 0,3 ař 1 m. Cena jednoho listu digitálního modelu reliéfu 4. generace je 500 KĀ, avřak lze získat tento dokument zadarmo po pŕedlořen dokumentu o diplomov práci. Cena digitálního modelu reliéfu 5. generace by měla stoupnout na 620 KĀ za jeden mapov list.

Program HEC-RAS umořňuje zadávat nejrznjř parametry a prvky vodnch toků. Jedná se o mostov konstrukce, pŕchn či podln tělesa či poldry. Nejdelř částí celého procesu hydrodynamického modelování je pŕprava vstupnch dat. Pŕprava vstupnch dat probíhá v programovm rozhraní ArcGIS s extencí HEC-GeoRAS. K extenci HEC-GeoRAS nelze v dneřn době dohledat mnoho materiálů v Āeskm jazyce, na rozdíl od programu HEC-RAS.

Hlavní roli pŕi popisu rozsahu zplavovch uzem hraje počet pŕchnch profilů. Jedná se o vzdálenost mezi nimi a jejich umřtn v rámci vodního toku. Pŕchn profily musí

vystihovat kritické topografické detaily. Správným umístěním příčných profilů dosáhneme zpřesnění hydrodynamického modelu. Počet příčných profilů je ovlivněn rozsahem oblasti, pro kterou vytváříme simulaci rozlivu. Příčné profily ovlivňují velikost výsledné záplavové zóny. Ve srovnání s výsledky modelu projektu DIBAVOD došlo k odchylkám v ploše rozlivu z důvodu, že projekt DIBAVOD protíná příčné profily skrz hranici České republiky.

Tématem dnešní doby je volba 1D, 2D nebo kombinace 1D a 2D modelu. Zásadním faktorem je čas výpočtu a velikost zájmového úseku. Obecně můžeme poznamenat, že čím složitější je schematizace, tím delší je čas výpočtu. Neméně důležitým faktorem je výkon počítače, ve kterém probíhá hydrodynamické modelování.

Rozsah záplavového území v projektu DIBAVOD a námi modelovaného rozlivu se liší. Je nutné si uvědomit, že vybraný úsek toku tvoří státní hranici s Polskem a data na území Polska nejsou ve využitých datových podkladech diplomové práce k dispozici na rozdíl od modelace rozlivu projektu DIBAVOD, kde můžeme vidět rozliv dosahující území Polska. Dalším určujícím faktorem plochy rozlivu je fakt, že modelovaný rozliv je pouze rozliv řeky Odry, nikoliv řeky Olše, která v bezprostřední blízkosti okolím protéká. Větší rozlivy v daném území nejsou způsobeny řekou Odrou, ale řekou Olší, která nemá možnost veškerý zvýšený průtok odvádět do řeky Odry. Důsledkem je rozliv řeky Olše do okolí.

Proto výsledky hovoří pouze o 10% zasažení rozlivů řeky Odry do městské zástavby. Historické centrum města Bohumín je ohroženo pouze řekou Odrou, naproti tomu městská část Bohumín-Kopytov bývá pravidelně zaplavována řekou Olše.

13 ZÁVĚR

Hydrodynamické modelování proudění v říčních korytech je velmi složitý proces. Ten bývá ovlivněn mnoha faktory. V diplomové práci bylo využito programu HEC-RAS a výpočtu ustáleného proudění. Program HEC-RAS umožňuje také počítat s prouděním neustáleným. Veškeré prvky a plochy mohou být do programu HEC-RAS zaneseny a následně použity pro výpočet. Software HEC-RAS a ArcGIS s extencí HEC-GeoRAS jsou plně hodnotné programy pro simulaci záplavového území. Díky hydrologických propočtů programu HEC-RAS byly vypočteny rozsahy rozlivů záplavového území řeky Odry v Bohumíně pro průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} .

Při průtoku Q_5 byla vypočtena plocha rozlivu 156,65 ha. Průtok Q_{20} vykazuje plochu rozlivu 181,24 ha. Posledním zjišťovaným rozsahem rozlivu byl průtok Q_{100} , který vykazuje plochu 189,95 ha. Dle zjištění využití půd jsou z největší části zaplaveny lesy a to z 48%. Tyto plochy mají přirozeně velkou infiltraci a jejich zaplavení nikoho neohrožuje.

Vzhledem k lokalizaci historické části města Bohumín plocha rozlivu Q₅, Q₂₀ a Q₁₀₀ ohrožuje průměrně až z 10,25% městskou zástavbu. Největším problémem je zástavba historického centra ve Starém Bohumíně, již při modelovaném průtoku Q₂₀ dochází k rozlivu, který sahá až k náměstí a ke kostelu Narození Panny Marie. Lepším příkladem je městská zástavba části Bohumín-Šunychl, Bohumín-Kopytov, kdy při průtoku Q₂₀ není zasažena žádná stavba. Rizikem těchto oblastí je avšak blízkost řeky Olše, která se v bezprostřední blízkosti vlévá do Odry. Mnohé povodně jsou způsobené právě řekou Olše, která díky rozvodněné Odře zvedá své vodní stavy.

Terénním pozorováním nebyl zjištěn závažný špatný technický stav koryta. Zanesené jsou pouze mrtvé ramena řeky Odry, které bývají přirozeně čištěny při větších průtocích řeky Odry.

V rámci modelování v programu HEC-RAS tento program velmi doporučuji. Hlavní výhodou je jeho dostupnost (je zdarma) a uživatelská nenáročnost. Pokud v programu HEC-RAS dojde k chybě a simulace se nespustí, ve většině případů program vypíše, kde se chyba nachází.

SEZNAM POUŽIT LITERATURY

- [1] Vodní hospodářství. HEIS VÚV [online]. [cit. 2017-10-11]. Dostupné z:
http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1
- [2] HAPLOV; Vladislava, Dariusz URBANIAK; Karolina ZUROWSKA. *Naše Odra: Turistick pŕuvodce pŕirodou hraničních meandrů Odry*. první. WWF Polska, 2006., s. 79, ISBN 83-923590-7-0.
- [3] KOUTECK, V. a kol. Pŕiroda okresu Karvin. Karvin: okresn urad v Karvin, 1988. 96 s.
- [4] OBRDLK, P., NIEZNASKI, P. Hraniční meandry Odry – fenomén evropského významu. WWF Deutschland, WWF Polska, Dolnoślska Fundacja Ekorozwoju, 2003. 60 s.
- [5] AGENTURA OCHRANY PŕRODY A KRAJINY ĀESK REPUBLIKY. Plán péče o pŕrodn památku Hraniční meandry Odry na období 2006-2017. 2005
- [6] CENIA, Āesk informační sgentrura ŕivotnho pŕostŕed. Národního geoportálu INSPRE, 2010 – 2015, [cit. 2017-17-10]. Dostupné z:
<http://geoportal.gov.cz/web/guest/home>
- [7] *Poodŕ: Āasopis obyvatel horní Odry: Rostliny PP Hraniční meandry Odry*. 2006, 9(1). ISSN 1803-2338.
- [8] DEMEK, J.; MACKOVĀIN, P. Zempisn lexikon ĀR: Hory a nŕiny. Brno: AOPK ĀR, 2006. 582 s.
- [9] DEMEK, J. Obecn geomorfologie. Praha: Academia, 1987. 476 s.
- [10] BRÁZDIL, Rudolf a Karel KIRCHNER. *Vybran pŕrodn extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. Brno: Masarykova univerzita ; Praha, 2007. ISBN 978–80–210–4173–8.
- [11] VZKUMN VODOHOSPODŘSK T.G.MASARYKA, Veŕejn vzkumn instituce. HEIS VÚV [online]. 2002-2016 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z:
<http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00>

- [12] MANÍČEK, J. Povodeň 1997. (Výroční zpráva 1997), Část II. Povodí Odry, s. p., Ostrava: Manuskript, 1998. 32 s.
- [13] TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T. ET. AL. (2007): Atlas podnebí Česka. Praha: ČHMÚ Praha, Vydavatelství UP Olomouc. S podporou NKP a MŽP. 255 s. CD.
- [14] KOUTECKÁ, V. Plán péče o přírodní památku Hraniční meandry Odry na období 2005 – 2014. Krajský úřad Moravskoslezského kraje, Ostrava: Manuskript, 2004.
- [15] RASZKOVÁ, Kateřina. *Vývoj koryta Odry na území přírodní památky Hraniční meandry Odry v městské části Bohumín-Kopytov*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [16] AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY - SPRÁVA CHKO POODŘÍ. *Plán péče o chráněnou krajinnou oblast Poodří na období 2009-2018*. 2008, 75 s.
- [17] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. In: . 2001, 98/2001, číslo 254. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [18] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů*. In: . 2000, 73/2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>
- [19] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)*. In: . 2000, 73/2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-240>
- [20] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 236/2002 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území*. In: . 2002, 89/2002. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-236>
- [21] ADAMEC, Vilém a kolektiv. *Ochrana před povodněmi a ochrana obyvatelstva*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012, 131 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-118-7.
- [22] MÁCHOVÁ, Jana a Petr HOVORKA. *Protipovodňová opatření*. Vyd. 1. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2013, 169 s. ISBN 978-80-87096-17-8.

- [23] Indikátor přívalových povodní [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://chmi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=1159f13d2f034424be2fb2d88d73723f>
- [24] DOLEŽALOVÁ, Marie. *Nízké a vysoké extrémy srážek v regionu jižní Moravy a Vysočiny v období 1981–2013: Český hydrometeorologický ústav* [online]. Brno [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/14993854-Marie-dolezelova-cesky-hydrometeorologicky-ustav-pobočka-brno-oddeleni-meteorologie-a-klimatologie-kroftova-43-616-67-brno.html>
- [25] RUDA, Aleš. PEDAGOGICKÁ FAKULTA MASARYKOVY UNIVERZITY. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2014 [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/skripta/klimatologie_hydrogeografie.pdf
- [26] TEISTER, J., VESELÝ, Z. *Od Bogunu k Bohumínu*. Havířov: Info Press, 2006. 260 s.
- [27] ŠUHAI, Jiří. Povodně na Bohumínsku od středověku po dnešek / Jiří Šuhaj, Jan F. Teister. *Poodří : časopis obyvatel horní Odry*. **2006**(1), 22-23. ISSN 1803-2338.
- [28] ING. SOUKALOVÁ, Eva. *ODTOKOVÁ SITUACE ZA POVODNĚ V ČERVENCI 1997 V POVODÍCH ODRY, MORAVY A LABE* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/aa943fb38bfdd406c12568e7u0070205e/73f03554b637e76880256804002ac260?OpenDocument>
- [29] CENIA, česká informační sgentrura životního prostředí. Národního geoportálu INSPRE, 2010 – 2015, [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/home>
- [30] Metodický pokyn č. 3/00 odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí pro stanovení účinků zvláštních povodní a jejich začlenění do povodňových plánů. In Věstník MŽP. 2000, částka 7.
- [31] JUST, Tomáš. Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi: revitalizace sídelního prostředí vodními prvky [CD-ROM].

Ilustroval Tomáš JUST. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2010. ISBN 978-80-87457-03-0.

[32] JUST, Tomáš. Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi. *Ochrana přírody* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.casopis.ochranaprirody.cz/pece-o-prirodu-a-krajinu/priode-blizke-upravy-vodnich-toku-v-intravilanech-a-jejich-vyznam-v-ochrane-pred-povodnemi/>

[33] Manipulační řád pro první etapu protipovodňové ochrany Bohumínska. *Ochrana přírody* [online]. 2003 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: https://www.pod.cz/planovani/soubory/koncepce_MSK/oblast_PPO.pdf

[34] UNUCKA, Jan. *Možnosti propojení GIS a environmentálních modelů pro potřeby krizového řízení a ochrany přírody*. Ostrava, 2010. Habilitační práce. VŠB-TUO. 264 s.

[35] UNUCKA, Jan. *Environmentální modelování* 1. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská Univerzita, 2014. 212 s.

[36] KLEPEK, Jiří. *Srovnání hydraulických modelů HEC – RAS a MIKE 11 při tvorbě mapy povodňového rizika Opavy*. Ostrava 2015

[37] ING. KLEPEK, Jiří. *ANALÝZA HYDRAULICKÝCH A HYDROGEOLOGICKÝCH POMĚRŮ NÁHONŮ S VYUŽITÍM GIS*. Ostrava, 2017. Diplomová. Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava.

[38] Geoportál ČÚZK [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(yydewhug3zcqhcvkxmefb1dy\)\)/Default.aspx?mode=eShop&head_tab=sekce-01-gp&menu=13](http://geoportal.cuzk.cz/(S(yydewhug3zcqhcvkxmefb1dy))/Default.aspx?mode=eShop&head_tab=sekce-01-gp&menu=13)

[39] JENÍČEK, M. Modelování hydrologických procesů I. 10. část GIS v hydrologickém a hydrodynamickém modelování. [online]. Univerzita Karlova v Praze – Přírodovědecká fakulta. 2010. Dostupné z: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=22>

[40] Arcgis. In: Arcdata Praha: geografické informační systémy [online]. 2013 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/>

[41] *HEC-GeoRAS and ArcGIS: ESRI* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.esri.com/library/fliers/pdfs/hec-georas-arcgis.pdf>

[42] DIVÍN, Josef. *Modelování průtoků pomocí softwarů HEC-RAS a HEC-GeoRAS*. Brno, 2003. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Tomáš Mikitka.

[43] BRUNNER, G. W. (2010): *HEC-RAS: River Analysis System User's Manual: Version*

4.1. Davis: US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 766 s.

[44] PODHRÁZSKÁ, Jana. *Návrh a hodnocení účinnosti systému komplexních opatření v pozemkových úpravách pro snížení škodlivých účinků povrchového odtoku: metodický návod*. Praha: VÚMOP, 2009. ISBN 978-80-904027-7-5.

[45] BĚLKA, L. (2012): Letecké laserové skenování a tvorba nového výškopisu České republiky. *Vojenský geografický obzor*, č. 1, s. 19–25.

[46] SCHENK, Jan. *Geodézie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0782-3.

[47] KAPLAN, Elliott D., ed. *Understanding GPS: principles and applications*. Boston: Artech House, c1996. ISBN 0-89006-793-7.

[48] Geoportál ČÚZK: *Polohopis* [online]. 2017 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(0yb3kewjalwom13w5y3k1jrx\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(0yb3kewjalwom13w5y3k1jrx))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

[49] *Geoportál čuzk* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(h3a1zyx5yzdi2bpe4lgxqxqd\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(h3a1zyx5yzdi2bpe4lgxqxqd))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

[50] *Mapy.cz: Bohumín* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.3495987&y=49.9113616&z=12&source=muni&id=4601&q=bohum%C3%ADn>

[51] Teister J. F. & Veselý Z. 2006: *Od Bogunu k Bohumínu. Historický průvodce městem*. Info Press, Havířov, 260 pp. ISBN 80-903346-0-3

[52] BOHÁČ, Marek. *Vytýčení prostoru volného pohybu řeky Odry na hranečním úseku mezi Bohumínem a soutoku s Olší*. 2005.

[53] KEMEL, M. *Klimatologie, Meteorologie and Hydrologie*. [online]. 2000 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z:

<http://hydrology.fsv.cvut.cz/Hydrology/vyuka/HYKV/lectures/HYKV.pdf>

[54] Hlasná stanice Bohumín. Digitální povodňový plán Moravskoslezského kraje [online]. [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: <http://dppmsk.hzsmsk.cz/web/dpp-msk/hlasna-stanice-bohumin-odra>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Lokace vybranho useku řeky Odry, (zdroj: [1], upravila: Raszková)	2
Obrázek 2 Indikátor pŕvalovch povodn Bohumín, (Zdroj: [23], upravila: Raszková)	10
Obrázek 3 Povodnov vlna Bohumín 1997, (zdroj: [26])	14
Obrázek 4 Průtoky (m^3s^{-1}) řeky Odry v roce 1997 v jednotlivých zasařench mstech, (zdroj: [28], upravila: Raszková)	16
Obrázek 5 Zplavove uzem Bohumín Q100, (Zdroj: [27], upravila: Raszková)	18
Obrázek 6 Ukázka produktu geoportálu ĀZK,(zdroj: [38], upravila: Raszková).....	23
Obrázek 7 GIS základní slořen, (zdroj: [42]).....	23
Obrázek 8 Ukázka pracovnho pŕostŕed v ArcMAP, (zdroj: Raszková)	24
Obrázek 9 Manningův koeficient drsnosti, (zdroj: [41])	29
Obrázek 10 Zaznařene lokality, (zdroj: [50], upravila: Raszková)	37
Obrázek 11 řelezniĀn most Star Bohumín, (zdroj: Kateřina Raszková).....	38
Obrázek 12 Drtokamenn matrace, zámek Chalupki, VodoĀet, (zdroj: Kateřina Raszková)	39
Obrázek 13 Mapa hraniĀnch meandrů Odry, (zdroj: [48], upravila: Raszková)	40
Obrázek 14 Soutok Odry a Olře, (zdroj: [48], upravila: Raszková).....	41
Obrázek 15 Ukázka vyplnne tabulky pŕi vlořen vstupních souborů, (zdroj: Raszková) ..	42
Obrázek 16 Ukázka DMT 4G, (zdroj: Raszková)	43
Obrázek 17 Ukázka ovldacho panelu HEC-GeoRAS, (zdroj: Raszková)	44
Obrázek 18 Atributov tabulka vodnho toku River, (zdroj: Raszková)	44
Obrázek 19 Ukázka vykreslen pŕĀnho profilu pomocí extence HEC-GeoRAS, (zdroj: Raszková).....	45
Obrázek 20 Ukázka komunikace HEC-RASu a uřivatele, (zdroj: Raszková)	46
Obrázek 21 Geometrick data programu HEC-RAS, (zdroj: Raszková)	47
Obrázek 22 PŕĀne profily promtnut v programu HEC-RAS, (zdroj: Raszková)	47

Obrázek 23 Pracovní prostředí HEC-RAS před importem dat, (zdroj: Raszková)	48
Obrázek 24 Prostorová vizualizace, (zdroj: Raszková)	49
Obrázek 25 Propojení rozlivu Q20 a WMS služby, (zdroj: Raszková).....	50
Obrázek 26 Porovnání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD pro průtok Q5, (zdroj: Raszková).....	51
Obrázek 27 Porovnání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD dle daných rozlivů, (zdroj: Raszková).....	52
Obrázek 28 Druh využití půdy (ha) při rozlivu Q5, (zdroj: Raszková).....	53
Obrázek 29 Výška vodní hladiny.....	53

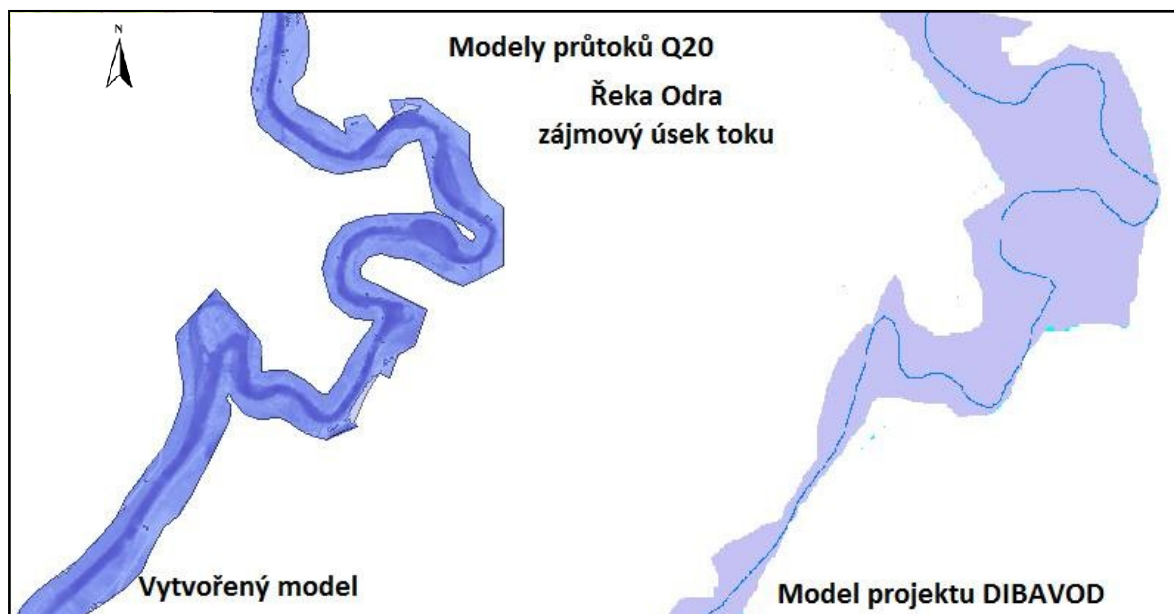
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Geologick stratifikace,(zdroj: [2], upravila: Raszková).....	5
Tabulka 2 Geomorfologick jednotky, (zdroj: [9], upravila: Raszková).....	5
Tabulka 3 Hydrologick informace, (zdroj: [11], upravila: Raszková).....	6
Tabulka 4 Průtoky řeky Odry, (Zdroj: [4], upravila: Raszková)	6
Tabulka 5 Hydrogeologick vrt, (zdroj: [11], upravila:Raszková)	7
Tabulka 6 Klimatologie Bohumín, (Zdroj: [13])	7
Tabulka 7 Průtoky Odry v Bohumíně, (Zdroj: [27] , upravila: Raszková).....	13
Tabulka 8 Soupis 5 nejničivějších povodn ve 20. století v Bohumíně, (zdroj: [6], upravila: Raszková).....	15
Tabulka 9 Stupně povodnov aktivity, (zdroj: [9], upravila: Raszková).....	18
Tabulka 10 Charakteristika statistických a dynamických vstupních dat, (zdroj: [37], upravila: Raszková)	22
Tabulka 11 Základní údaje modelu MIKE 11, (zdroj: [37]).....	26
Tabulka 12 Základní údaje modelu HEC-RAS, (zdroj: [43]).....	27
Tabulka 13: Parametry vodomrn stanice Bohumín, (zdroj: [54], upravila: Raszková) ...	39
Tabulka 14 Manningův koeficient pro inundan uzem, (zdroj: HEC-RAS Help, upravila: Raszková).....	48
Tabulka 15 Průtoky jednotlivých rozlivů, (zdroj: [9], upravila: Raszková).....	51

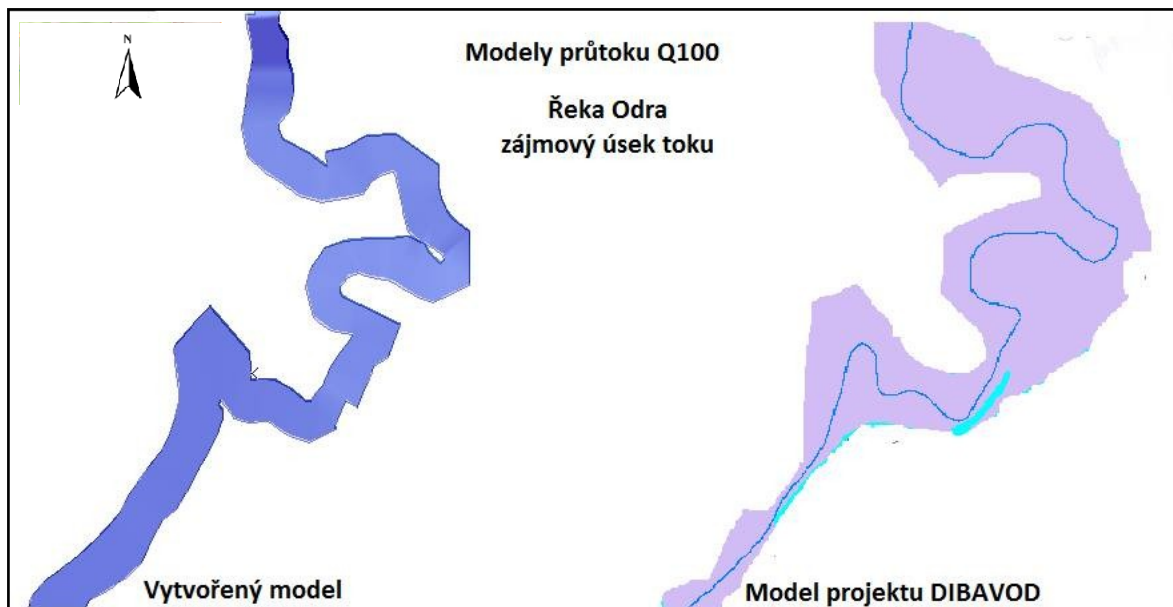
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Rozliv způsobený Q_{20} – srovnávání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD	1
Příloha 2: Rozliv způsobený Q_{100} – srovnávání vytvořeného modelu a modelu projektu DIBAVOD	2
Příloha 3: Poměr využití půdy při rozlivu Q_{20}	3
Příloha 4: Poměr využití půdy při rozlivu Q_{100}	4
Příloha č. 5: Výška vodní hladiny vodního toku v zájmovém úseky řeky Odry	5

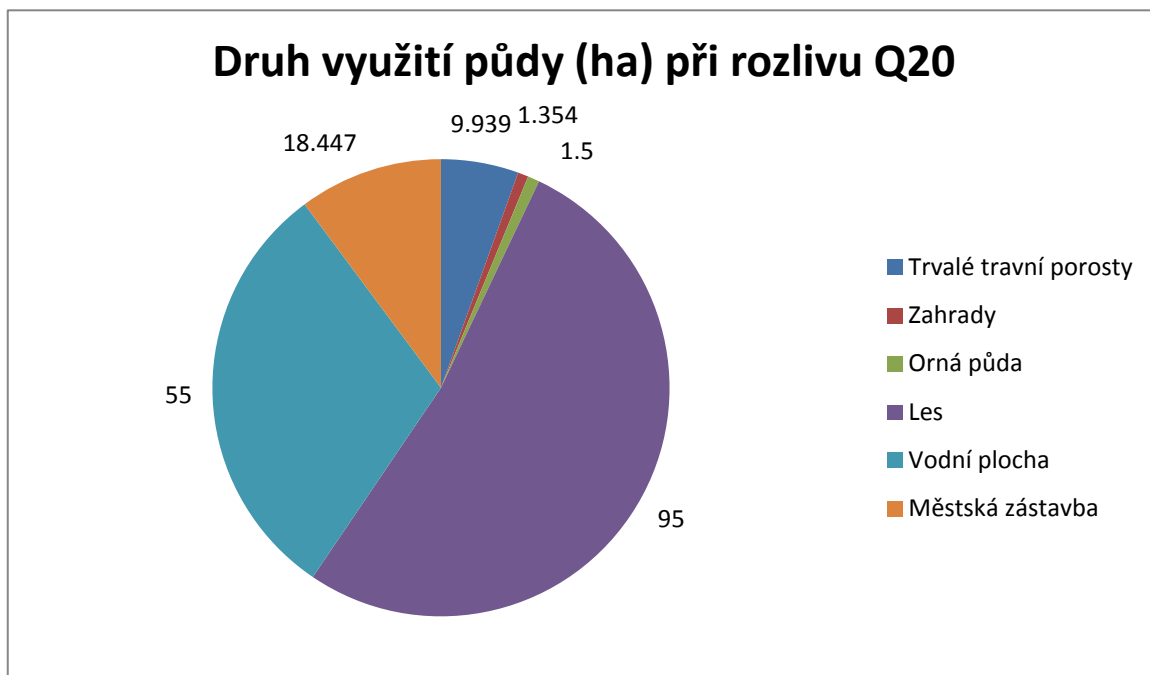
**Příloha 1: Rozliv způsobený Q_{20} – srovnávání vytvořeného modelu a
modelu projektu DIBAVOD**



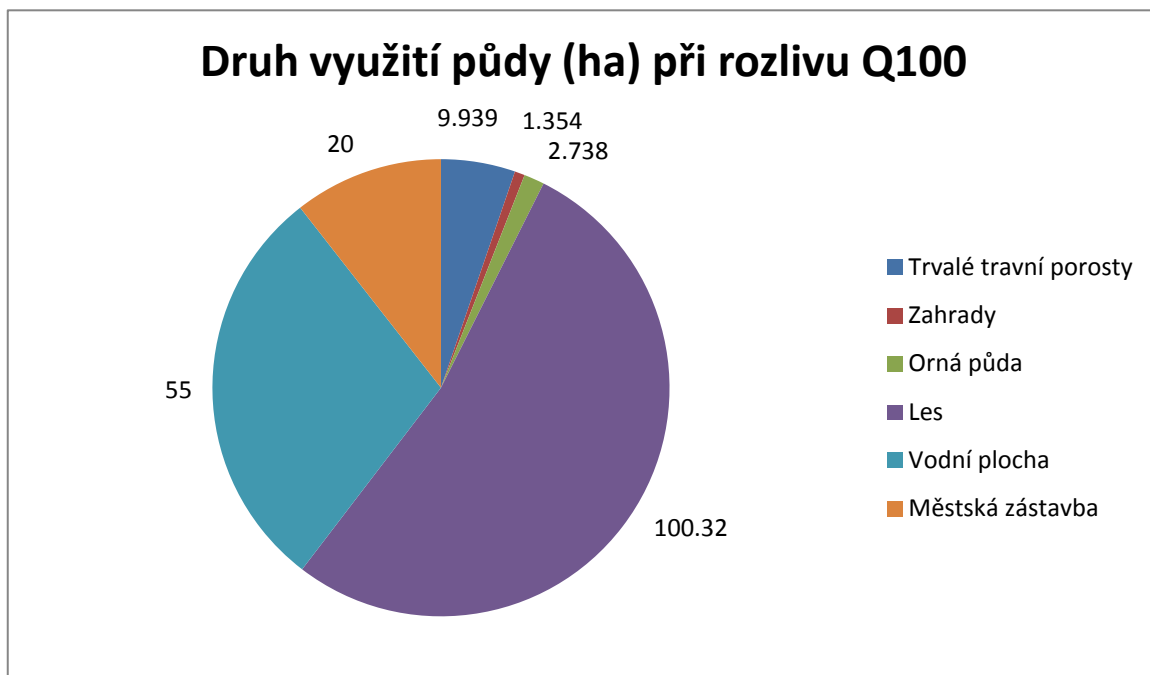
**Příloha 2: Rozliv způsobený Q_{100} – srovnávání vytvořeného modelu a
modelu projektu DIBAVOD**



Příloha 3: Poměr využití půdy při rozlivu Q_{20}



Příloha 4: Poměr využití půdy při rozlivu Q100



**Příloha č. 5: Výška vodní hladiny vodního toku v zájmovém úseky řeky
Odry**

Nejnižší bod profilu	QMD	Q5	Q20	Q100
196.18	197.16	200.43	201.37	202.49
195.24	197.12	200.34	201.28	202.35
194.75	197.08	200.25	201.23	202.40
194.79	196.99	200.21	201.19	202.40
193.99	196.94	200.16	201.10	202.26
195.06	196.94	200.07	200.97	202.17
195.47	196.76	200.03	201.01	202.22
194.75	195.69	199.89	200.97	202.08
194.12	195.51	199.80	200.83	202.08
193.27	195.42	199.76	200.79	201.99
193.01	195.38	199.71	200.74	201.99
193.05	195.29	199.62	200.65	201.91
192.83	195.29	199.67	200.70	201.82
192.83	195.24	199.58	200.52	201.68
193.23	195.24	199.58	200.47	201.68
193.45	195.20	199.40	200.43	201.68
193.09	195.06	199.27	200.38	201.64
192.78	195.11	199.36	200.34	201.55
193.59	195.11	199.36	200.30	201.50
193.59	194.97	199.27	200.30	201.50
193.86	194.97	199.22	200.25	201.46
193.18	194.79	199.13	200.16	201.37
193.54	194.53	199.13	200.16	201.37
193.09	194.44	199.04	200.07	201.32
192.47	194.44	199.04	200.07	201.32
192.69	194.44	199.00	200.07	201.23
192.38	194.39	198.91	200.03	201.14
192.25	194.30	198.86	199.89	201.10
192.25	194.30	198.86	199.94	201.10
192.56	194.21	198.82	199.94	201.01
191.4	194.17	198.82	199.85	201.01
191.13	194.17	198.55	199.71	200.74
191.22	194.17	198.37	199.49	200.47
192.87	193.86	198.19	199.36	200.47
191.53	193.86	198.15	199.18	200.25
191.08	193.86	198.10	199.09	200.16
191.66	193.81	198.01	199.00	200.07
191.13	193.77	197.92	198.95	199.85
190.99	193.81	197.88	198.86	199.96

Kateřina Raszková: Využití programu HEC-RAS při modelování rozlivů v korytě řeky
Odry v Bohumíně

192.02	193.77	197.70	198.77	199.76
190.59	193.72	197.66	198.73	199.67
191.31	193.68	197.52	198.60	199.53
190.81	193.63	197.52	198.51	199.53
192.29	193.53	197.34	198.42	199.45
192.16	192.87	197.34	198.33	199.45
191.04	192.56	197.21	198.33	199.45
190.68	192.47	197.30	198.42	199.40
190.95	192.42	197.30	198.42	199.36
190.23	192.29	197.08	198.28	199.18
189.87	192.29	196.90	198.10	198.91
189.96	192.25	196.76	197.84	198.60
190.28	192.16	196.45	197.57	198.60
190.1	192.16	196.40	197.57	198.55
190.1	192.02	196.40	197.52	198.60
190.5	192.02	196.40	197.52	198.46
190.68	191.75	196.31	197.52	198.28
190.77	191.57	196.18	197.39	197.92
189.92	191.08	196.14	197.25	197.75
188.98	190.99	195.91	196.90	197.75
188.76	190.90	195.78	196.72	197.70
188.71	190.86	195.69	196.63	197.48
188.67	190.72	195.64	196.67	197.34
189.07	190.46	195.42	196.45	197.16
188.94	190.14	195.06	196.45	197.08
187.59	190.50	195.06	196.18	196.99
187.95	189.96	195.02	196.23	196.81
187.33	189.92	194.84	196.00	196.72
187.91	189.83	194.62	195.87	196.54
187.59	189.83	194.44	195.78	196.27
187.5	189.83	194.21	195.55	196.09
188.4	189.29	194.03	195.51	195.51
187.5	188.98	193.23	194.88	195.06
187.28	188.67	193.01	194.44	194.53
186.65	188.58	192.33	193.99	194.08
187.01	188.13	191.89	192.92	193.68